

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-009592

(43)Date of publication of application : 11.01.2002

---

(51)Int.Cl.

H03H 17/06

---

(21)Application number : 2000-189743 (71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 20.06.2000 (72)Inventor : MOGI YUKIHIKO  
NISHIBORI KAZUHIKO

---

## (54) FIR FILTER AND METHOD FOR SETTING ITS COEFFICIENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an FIR(Finite Impulse Response) filter where a frequency point desirably to be passed can be designated and to provide a method for setting its coefficient.

**SOLUTION:** This invention provides the method for setting a filter coefficient of the FIR filter that includes an initial setting step (F101) where setting of the FIR filter, setting of the band, and entry of a frequency point desirably to be passed and setting of an initial extremum point are conducted, a 1st step (F102) where an interpolation polynomial is generated, which interpolates the amplitude characteristic based on the extremum point of the frequency versus amplitude characteristic and the frequency point desirably to be passed, a 2nd step (F103) where a new extremum point is decided on the basis of the amplitude characteristic obtained from the interpolation polynomial decided in the 1st step, a 3rd step (F104) where repeating the 1st and 2nd steps decides whether or not the position of the extremum value is approximated to be kept within a desired range, and a 4th step (F105) where the filter coefficient is obtained based on the amplitude characteristic that is approximated in the 3rd step.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.02.2007

[Date of sending the examiner's decision  
of rejection]

[Kind of final disposal of application other  
than the examiner's decision of rejection]

or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The FIR filter which an impulse response is the FIR filter with which it is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor, and is set up when the above-mentioned filter factor performs approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration.

[Claim 2] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which computes the above-mentioned filter factor by expressing an impulse response with finite time amount length, and performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that the impulse response concerned serves as a filter factor, and passes the frequency point of arbitration.

[Claim 3] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 2 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of arbitration.

[Claim 4] It is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, and the frequency point which you want to pass, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, and the 4th step which

asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above.

[Claim 5] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 4 which has the initialization step which performs setting out of an FIR filter, setting out of a band, input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, and setting out of an initial extreme point at least before performing the 1st step of the above.

[Claim 6] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 4 which search[ for a rear spring supporter ]-asks the whole approximation band for the extremal value of the approximation error with weight calculated from the extreme point used for interpolation at the 2nd step of the above, and the 3rd step, and is judged that optimal approximation was acquired when calculated extremal value would be made into a new extreme point and the location of extremal value would not change.

[Claim 7] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 4 which computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration at the 4th step of the above.

[Claim 8] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 7 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of arbitration.

[Claim 9] An impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. It is the FIR filter which has the tap of arbitration. The above-mentioned filter factor When the above-mentioned number of taps is made adjustable and a band is fixed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The FIR filter set up by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 10] An impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. It is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the tap of arbitration. When the above-mentioned number of taps is made adjustable and a band is fixed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 11] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach

of the filter factor of the FIR filter according to claim 10 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Claim 12] An impulse response is expressed with finite time amount length, the impulse response concerned serves as a filter factor, and the number of taps can be changed. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that the band is being fixed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the investigated magnitude of attenuation is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes the number of taps when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the 7th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated by the 3rd step of the above which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions.

[Claim 13] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 12 which has at least the initialization step which specifies setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, and the magnitude of attenuation of an inhibition zone before performing the 1st step of the above.

[Claim 14] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 12 which investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above, and increases the number of taps at the 6th step of the above.

[Claim 15] the setting out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 12 which compute the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property so that it may be satisfied with the 7th step of the above of the magnitude of attenuation of an inhibition zone using the algorithm which added a constraint which pass the frequency point of the arbitration which satisfy the magnitude of attenuation of an inhibition zone when the above-mentioned number of taps be make adjustable and a band be fix .

[Claim 16] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 15 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Claim 17] An impulse response is the FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps by immobilization [ the above-mentioned filter factor ] Band setting out is an FIR filter set up by performing approximation with weight to a desired property so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, when it can change.

[Claim 18] An impulse response is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps by immobilization When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 19] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 18 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Claim 20] An impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. The number of taps by immobilization The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the investigated magnitude of attenuation is measured, and the comparison result has

satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the 7th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated by the 3rd step of the above which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions.

[Claim 21] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 20 which has at least the initialization step which specifies setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, and the magnitude of attenuation of an inhibition zone before performing the 1st step of the above.

[Claim 22] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 20 which investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above.

[Claim 23] when the above-mentioned number of taps perform approximation with weight to a desired property at the 7th step of the above so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfy using the algorithm which added a constraint which pass the frequency point of the arbitration which satisfy the magnitude of attenuation of an inhibition zone at immobilization when band setting out can be change , it be the setting out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 20 of compute the above-mentioned filter factor .

[Claim 24] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 23 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Claim 25] An impulse response is the FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps with adjustable [ the above-mentioned filter factor ] Band setting out is an FIR filter set up by performing approximation with weight to a desired property so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, when it can change.

[Claim 26] An impulse response is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps with adjustable When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that

the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 27] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 26 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Claim 28] An impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. The number of taps with adjustable The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the investigated magnitude of attenuation is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 7th step which judges whether it can be satisfied with the 6th step of the above of the band modification back, and can be satisfied with the current number of taps of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, The 8th step which changes the number of taps when it is judged that it is not satisfied with the 7th step of the above, The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the 9th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated by the 3rd step of the above which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions.

[Claim 29] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter of claim 28 \*\* which has at least the initialization step which specifies setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, and the magnitude of attenuation of an inhibition zone before performing the 1st step of the above.

[Claim 30] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 28 which investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above, and increases the number of taps at the 8th step of the above.

[Claim 31] when the above-mentioned number of taps perform approximation with weight to a desired property at the 9th step of the above so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfy using the algorithm which added a constraint which pass the frequency point of the arbitration which satisfy the magnitude of attenuation of an inhibition zone adjustable when band setting out can be change , it be the setting out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 28 of compute the above-mentioned filter factor .

[Claim 32] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 31 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Claim 33] An impulse response is the FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps by immobilization [ the above-mentioned filter factor ] When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The FIR filter set up by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 34] An impulse response is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps by immobilization When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 35] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 34 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passes the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region and which passes the frequency point of arbitration.

[Claim 36] An impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. The number of taps by immobilization The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting



out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the magnitude of attenuation investigated at the 4th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 7th step which investigates the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions, The 8th step which judges whether the magnitude of attenuation of the transient region specified as the magnitude of attenuation of the assignment frequency of the transient region investigated at the 7th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 9th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 7th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the 10th step which asks for the above-mentioned filter factor from the approximated amplitude characteristic which was satisfied with the 7th step of the above of predetermined conditions.

[Claim 37] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 36 which has at least the initialization step which specifies the magnitude of attenuation in setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the assignment frequency of a transient region before performing the 1st step of the above.

[Claim 38] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 36 which investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above.

[Claim 39] when the above-mentioned number of taps perform approximation with weight to a desired property at the 10th step of the above so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfy using the algorithm which added a constraint which pass the frequency point of arbitration of satisfy the magnitude of attenuation of an inhibition zone at immobilization when band setting out can be change , and pass the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region , it be the setting out approach of the filter factor of an FIR filter

according to claim 36 of compute the above-mentioned filter factor .

[Claim 40] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 39 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passes the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region and which passes the frequency point of arbitration.

[Claim 41] An impulse response is the FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps with adjustable [ the above-mentioned filter factor ] When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The FIR filter set up by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 42] An impulse response is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the tap of arbitration by being expressed with finite time amount length and the impulse response concerned serving as a filter factor. The above-mentioned number of taps with adjustable When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property.

[Claim 43] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 42 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passes the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region and which passes the frequency point of arbitration.

[Claim 44] An impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. The number of taps with adjustable The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and carries out [ amplitude characteristic / of a frequency ] extreme point passage, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step,

and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the magnitude of attenuation investigated at the 4th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 7th step which judges whether it can be satisfied with the 6th step of the above of the band modification back, and can be satisfied with the current number of taps of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, The 8th step which changes the number of taps when it is judged that it cannot be satisfied with the 7th step of the above, The 9th step which investigates the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions, The 10th step which judges whether the magnitude of attenuation of the transient region specified as the magnitude of attenuation of the assignment frequency of the transient region investigated at the 9th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 11th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 10th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 12th step which judges whether the band modification back is passed at the 11th step of the above, and the assignment frequency of a transient region can be passed with the present number of taps, The 13th step which changes the number of taps when it judges that it cannot make it pass at the 12th step of the above, The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the 14th step which asks for the above-mentioned filter factor from the approximated amplitude characteristic which was satisfied with the 10th step of the above of predetermined conditions.

[Claim 45] The setting-out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 44 which has at least the initialization step which specifies the magnitude of attenuation in setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the assignment frequency of a transient region before performing the 1st step of the above.

[Claim 46] The setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 44 which investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above, and increases the number of taps at the 8th step of the above, and the 13th step.

[Claim 47] when the above-mentioned number of taps perform approximation with weight to a desired property at the 14th step of the above so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfy using the algorithm which added a

constraint which pass the frequency point of arbitration of satisfy the magnitude of attenuation of an inhibition zone at immobilization when band setting out can be change , and pass the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region , it be the setting out approach of the filter factor of an FIR filter according to claim 44 of compute the above-mentioned filter factor .

[Claim 48] The above-mentioned weighting approximation is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter according to claim 47 performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passes the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region and which passes the frequency point of arbitration.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the setting-out approach of an FIR filter required for digital signal processing, and its multiplier.

[0002]

[Description of the Prior Art] In digital signal processing of an image or voice, filtering is often used. A phase FIR (Finite Impulse Response; finite impulse response) filter is well used at least for a straight line from the description that the filter used for the filtering has a phase at least for a straight line with the number of taps of finite.

[0003] Drawing 1 is drawing in which at least a straight line shows the transversal mold circuitry of a phase FIR filter. The delay machine 2-1 to 2-n-1 of an individual (n-1) with which cascade connection only of this straight line is carried out to an input terminal TIN, and it constitutes a shift register as the phase FIR filter 1 is shown in drawing 1 , The signal and each delay machine 2-1 to 2-n-1 which were inputted into the input terminal TIN n multipliers 3-1 which carry out the multiplication of filter factor  $h(0) - \text{the } h(n-1)$  to an output signal, respectively - 3-n, The output signal of n multipliers 3-1 - 3-n is added, and it is an output terminal TOUT. It is constituted by the adder 4 to output.

[0004] As a design method with a as typical phase FIR filter as such a straight line For example, Parks and T.W.and The REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm with which McClellan, J.H. and others applied at least the straight line to the phase FIR filter is known (J.H.: ). [ Parks, T.W.and McClellan, ] "Chebyshev Approximation for Nonrecursive Digital Filters with Linear Phase" and IEEE Trans. Circuit Theory and CT-19, 2, pp.189-194, 1972 and Rabiner, L.R., McClellan, J.H.and Parks, T.W.:

"FIR Digital Filter Design Techniques Using Weighted Chebyshev Approximation", Proc.IEEE, Vol63, April, pp.595-610, and 1975 Reference.

[0005] A REMUZU exchange algorithm is an algorithm approximated so that it may become ripple forms [ error / with weight / approximation ] to the desired amplitude characteristic.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, by the design specification of a phase FIR filter, if at least a straight line does not set direct-current gain at the time of a frequency  $w=0$  to 1, it is learned, and it has a case.

[0007] However, there are the following technical problems in a REMUZU exchange algorithm. That is, as shown in drawing 2 , with a REMUZU exchange algorithm, the amplitude characteristic which passes the frequency point of the specified arbitration cannot be acquired.

[0008] This invention is made in view of this situation, and the object is in offering the setting-out approach of the FIR filter which can have the frequency response which passes the frequency point of arbitration, and its multiplier.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, an impulse response is expressed with finite time amount length, the impulse response concerned serves as a filter factor, and this invention is an FIR filter which is and is set up by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm with which the above-mentioned filter factor added a constraint which passes the frequency point of arbitration.

[0010] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, and this invention is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that the impulse response concerned serves as a filter factor, and computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration.

[0011] Moreover, in this invention, the above-mentioned weighting approximation is performed to a desired property using the REMUZU exchange (Remez Exchange) algorithm which passes the frequency point of arbitration.

[0012] Moreover, this invention is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned serves as a filter factor. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, and the frequency point which you want to pass, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 1st step of the above and the 2nd step are repeated, and it has the 3rd step ended according to predetermined

conditions, and the 4th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above.

[0013] In this invention, when it falls within the range which the maximum of an approximation error with desired amplitude value specified when it was judged as a terminating condition of the 3rd step of the above whether the location of extremal value was approximated to request within the limits, for example, the case where the number of occurrence set up beforehand is reached can be adopted.

[0014] Moreover, in this invention, before performing the 1st step of the above, it has the initialization step which performs setting out of an FIR filter, setting out of a band, input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, and setting out of an initial extreme point at least.

[0015] Moreover, by this invention, at the 2nd step of the above, and the 3rd step, the whole approximation band is search[ for a rear spring supporter ]-asked for the extremal value of the approximation error with weight calculated from the extreme point used for interpolation, calculated extremal value is made into a new extreme point, and when the location of extremal value will not change, it is judged that optimal approximation was acquired.

[0016] Moreover, by this invention, the above-mentioned filter factor is computed by performing approximation with weight to a desired property at the 4th step of the above using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration.

[0017] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, and, as for this invention, the impulse response concerned serves as a filter factor. It is the FIR filter which has the tap of arbitration. The above-mentioned filter factor When the above-mentioned number of taps is made adjustable and a band is fixed, it is set up by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied.

[0018] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, and, as for this invention, the impulse response concerned serves as a filter factor. It is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter which has the tap of arbitration. When the above-mentioned number of taps is made adjustable and a band is fixed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The above-mentioned filter factor is computed by performing approximation with weight to a desired property.

[0019] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, the impulse response concerned serves as a filter factor, and this invention can change the number of taps. The 1st step which generates the interpolation polynomial which

interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that the band is being fixed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency. The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the investigated magnitude of attenuation is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, It has the 7th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated by the 6th step which changes the number of taps when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, and the 3rd step of the above which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions.

[0020] Moreover, the initialization step which specifies setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, and the magnitude of attenuation of an inhibition zone at least in this invention before performing the 1st step of the above.

[0021] Moreover, this invention investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above, and the number of taps is increased at the 6th step of the above.

[0022] Moreover, in this invention, the above-mentioned filter factor is computed by performing approximation with weight to a desired property so that it may be satisfied with the 7th step of the above of the magnitude of attenuation of an inhibition zone using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, when the above-mentioned number of taps is made adjustable and a band is fixed.

[0023] Moreover, this invention is an FIR filter with which an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned filter factor is [ the above-mentioned number of taps ] immobilization. When it can change, band setting out is set up by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied.

[0024] Moreover, this invention is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and

the above-mentioned number of taps is immobilization. When it can change, band setting out computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied.

[0025] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, as for this invention, the impulse response concerned serves as a filter factor, and the number of taps is immobilization. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the investigated magnitude of attenuation is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, It has the 7th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated by the 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, and the 3rd step of the above which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions.

[0026] Moreover, the initialization step which specifies setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, and the magnitude of attenuation of an inhibition zone at least in this invention before performing the 1st step of the above.

[0027] Moreover, this invention investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above.

[0028] Moreover, by this invention, at the 7th step of the above, the above-mentioned number of taps computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property so that it may be satisfied with immobilization of the magnitude of attenuation of an inhibition zone using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, when band setting out can be changed.

[0029] Moreover, this invention is an FIR filter with which an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has



the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned filter factor is [ the above-mentioned number of taps ] adjustable. When it can change, band setting out is set up by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied.

[0030] Moreover, this invention is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned number of taps is adjustable. When it can change, band setting out computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied.

[0031] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, as for this invention, the impulse response concerned serves as a filter factor, and the number of taps is adjustable. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the investigated magnitude of attenuation is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 7th step which judges whether it can be satisfied with the 6th step of the above of the band modification back, and can be satisfied with the current number of taps of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, When it is judged that it is not satisfied with the 7th step of the above, it has the 9th step which asks for the above-mentioned filter factor from the amplitude characteristic approximated by the 8th step which changes the number of taps, and the 3rd step of the above which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions.

[0032] Moreover, the initialization step which specifies setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to

make it pass, setting out of an initial extreme point, and the magnitude of attenuation of an inhibition zone at least in this invention before performing the 1st step of the above.

[0033] Moreover, this invention investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above, and the number of taps is increased at the 8th step of the above.

[0034] Moreover, by this invention, at the 9th step of the above, the above-mentioned number of taps computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property so that it may be satisfied with adjustable of the magnitude of attenuation of an inhibition zone using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of the arbitration which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, when band setting out can be changed.

[0035] Moreover, this invention is an FIR filter with which an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned filter factor is [ the above-mentioned number of taps ] immobilization. When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied It is set up by performing approximation with weight to a desired property.

[0036] Moreover, this invention is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned number of taps is immobilization. When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The above-mentioned filter factor is computed by performing approximation with weight to a desired property.

[0037] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, as for this invention, the impulse response concerned serves as a filter factor, and the number of taps is immobilization. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and you want to pass with the extreme point of the amplitude characteristic of a frequency, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the

above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the magnitude of attenuation investigated at the 4th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 7th step which investigates the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions, The 8th step which judges whether the magnitude of attenuation of the transient region specified as the magnitude of attenuation of the assignment frequency of the transient region investigated at the 7th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, It has the 9th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 7th step of the above has not satisfied predetermined conditions, and the 10th step which asks for the approximated amplitude characteristic which was satisfied with the 7th step of the above of predetermined conditions to the above-mentioned filter factor.

[0038] Moreover, in this invention, before performing the 1st step of the above, it has the initialization step which specifies the magnitude of attenuation in setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the assignment frequency of a transient region at least.

[0039] Moreover, this invention investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above.

[0040] Moreover, by this invention, at the 10th step of the above, the above-mentioned number of taps computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property so that it may be satisfied with immobilization of the magnitude of attenuation of an inhibition zone using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region, when band setting out can be change.

[0041] Moreover, this invention is an FIR filter with which an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned filter factor is [ the above-mentioned number of taps ] adjustable. When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient

region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied It is set up by performing approximation with weight to a desired property.

[0042] Moreover, this invention is the setting-out approach of the filter factor of an FIR filter that an impulse response is expressed with finite time amount length, and the impulse response concerned has the tap of arbitration by being a filter factor, and the above-mentioned number of taps is adjustable. When band setting out can be changed, using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region so that the magnitude of attenuation of an inhibition zone may be satisfied The above-mentioned filter factor is computed by performing approximation with weight to a desired property.

[0043] Moreover, an impulse response is expressed with finite time amount length, as for this invention, the impulse response concerned serves as a filter factor, and the number of taps is adjustable. The 1st step which generates the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the frequency point which band setting out is the setting-out approach of the filter factor of the FIR filter which can be changed, and carries out [ amplitude characteristic / of a frequency ] extreme point passage, The 2nd step which determines a new extreme point from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial obtained at the 1st step of the above, The 3rd step which repeats the 1st step of the above, and the 2nd step, and is ended according to predetermined conditions, The 4th step which investigates the magnitude of attenuation of an inhibition zone from the amplitude characteristic approximated at the 3rd step of the above, The 5th step which judges whether the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the magnitude of attenuation investigated at the 4th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 6th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 5th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 7th step which judges whether it can be satisfied with the 6th step of the above of the band modification back, and can be satisfied with the current number of taps of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, The 8th step which changes the number of taps when it is judged that it cannot be satisfied with the 7th step of the above, The 9th step which investigates the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region which was satisfied with the 5th step of the above of predetermined conditions, The 10th step which judges whether the magnitude of attenuation of the transient region specified as the magnitude of attenuation of the assignment frequency of the transient region investigated at the 9th step of the above is measured, and the comparison result has satisfied predetermined conditions, The 11th step which changes setting out of a band when the comparison result of the 10th step of the above has not satisfied predetermined conditions, The 12th step which judges

whether the band modification back is passed at the 11th step of the above, and the assignment frequency of a transient region can be passed with the present number of taps. It has the 13th step which changes the number of taps when it judges that it cannot make it pass at the 12th step of the above, and the 14th step which asks for the approximated amplitude characteristic which was satisfied with the 10th step of the above of predetermined conditions to the above-mentioned filter factor.

[0044] Moreover, in this invention, before performing the 1st step of the above, it has the initialization step which specifies the magnitude of attenuation in setting out of an FIR filter, setting out of a band, the input of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the assignment frequency of a transient region at least.

[0045] Moreover, this invention investigates the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone at the 4th step of the above, and the number of taps is increased at the 8th step of the above, and the 13th step.

[0046] Moreover, by this invention, at the 14th step of the above, the above-mentioned number of taps computes the above-mentioned filter factor by performing approximation with weight to a desired property so that it may be satisfied with immobilization of the magnitude of attenuation of an inhibition zone using the algorithm which added a constraint which passes the frequency point of arbitration of satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passing the magnitude of attenuation of the assignment frequency of a transient region, when band setting out can be change.

[0047] According to this invention, the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it passing is inputted by initial setting, and setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, setting out of the multiplier of a pre-filter, and setting out of an initial extreme point are performed at least for a straight line, for example. Next, the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from a current extreme point and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass is generated. Next, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the generated interpolation polynomial. It is judged whether these were repeated, for example, the location of extremal value was approximated to request within the limits. And a filter factor is called for from the approximated amplitude characteristic.

[0048]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, it relates with a drawing and the gestalt of operation of this invention is explained.

[0049] It is possible to take transversal mold circuitry as shown in drawing 1 as equivalent [ a phase FIR filter ] as the straight line concerning this invention. However, filter coefficient  $h$  is a Chebyshev approximation problem (Chebyshev approximation problem) so that it may explain in full detail below. The REMUZU exchange (Remez

Exchange) algorithm to solve is extended, Chebyshev approximation of the desired amplitude characteristic is carried out, and to pass the frequency point of arbitration is asked from the approximated amplitude characteristic.

[0050] Hereafter, about the concrete approach of multiplier setting out of at least the straight line concerning this invention of a phase FIR filter, it relates with a drawing and order is explained later on. In the following explanation, the number of the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it passing in a frequency domain is expressed as Np.

[0051] Since transfer function [ of a phase FIR filter ] K (z) has a phase at least for a straight line as shown in drawing 3 , in the case of four, at least a straight line is classified. It is classified into four case of 4 when symmetrical with the even number tap specifically shown in 3 and drawing 3 (D) when symmetrical with the odd number tap shown in 2 and drawing 3 (C) when symmetrical with the even number tap shown in 1 and drawing 3 (B) when symmetrical with the odd number tap shown in drawing 3 (A), and \*\*, and \*\*, and \*\*, and \*\*.

[0052] and the amplitude characteristic function H (ejw) -- a case -- 1 -- leaving as it is -- a case -- 2-4 -- as follows -- rewriting .

[0053]

[Equation 1]

$$\sum_{n=0}^{(L-1)/2} a(n)\cos(n\omega) \quad (1-1)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{L/2} b(n)\cos\left\{\left(n-\frac{1}{2}\right)\omega\right\} \\ & = \cos\left(\frac{\omega}{2}\right) \sum_{n=0}^{L/2-1} \tilde{b}(n)\cos(n\omega) \end{aligned} \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{(L-1)/2} c(n)\sin(n\omega) \\ & = \sin(\omega) \sum_{n=0}^{(L-3)/2} \tilde{c}(n)\cos(n\omega) \end{aligned} \quad (1-3)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{L/2} d(n)\sin\left\{\left(n-\frac{1}{2}\right)\omega\right\} \\ & = \sin\left(\frac{\omega}{2}\right) \sum_{n=0}^{L/2-1} \tilde{d}(n)\cos(n\omega) \end{aligned} \quad (1-4)$$

[0054] That is, the amplitude characteristic function H (ejw) is expressed with a product with the cosine series P (ejw) containing Function Q (ejw) and the design parameter of the fixed parameter shown in drawing 4 . Henceforth, the upper limit of

each type (1-1) - (formula 1-4) the sum will be expressed as  $R-1+2xNp$ . That is, R is calculated like drawing 4. Moreover,  $a(n)$ ;  $\tilde{b}(n)$ ;  $\tilde{c}(n)$ ;  $\tilde{d}(n)$  It is named  $p(n)$  generically.

[0055] When considering as the desired amplitude characteristic  $D(e^{j\omega})$  and setting weight to each frequency to  $W(e^{j\omega})$ , the approximation error with weight is defined as follows.

[0056]

[Equation 2]

$$E(e^{j\omega}) = W(e^{j\omega}) \{D(e^{j\omega}) - H(e^{j\omega})\} \quad (2)$$

[0057]

[Equation 3]

$$H(e^{j\omega}) = Q(e^{j\omega}) \cdot P(e^{j\omega}) \quad (3)$$

[0058] It is as follows when a formula (3) is substituted for a formula (2).

[0059]

[Equation 4]

$$E(e^{j\omega}) = \hat{W}(e^{j\omega}) \{ \hat{D}(e^{j\omega}) - P(e^{j\omega}) \} \quad (4)$$

[0060] However,  $\hat{W}(e^{j\omega})$  and  $\hat{D}(e^{j\omega})$  presuppose that it is as follows.

[0061]

[Equation 5]

$$\hat{W}(e^{j\omega}) = W(e^{j\omega}) \cdot Q(e^{j\omega}) \quad (5)$$

[0062]

[Equation 6]

$$\hat{D}(e^{j\omega}) = \frac{D(e^{j\omega})}{Q(e^{j\omega})} \quad (6)$$

[0063] a formula (4) -- a case -- 1- case -- 4 -- at least the straight line in four expresses the approximation error with weight of a phase FIR filter. The Chebyshev approximation problem with weight is a (n) of formula (1-1) - (1-4) which makes min maximum of  $|E(e^{j\omega})|$  in the area within an assigned frequency band in a formula (2);  $\tilde{b}(n)$ ;  $\tilde{c}(n)$ ;  $\tilde{d}(n)$  It is determining.

[0064] It relates with an example hereafter and explains. Here, as shown in the following type and drawing 5, the amplitude characteristic  $D(e^{j\omega})$  is defined.

[0065]

[Equation 7]

$$\begin{aligned} D(e^{j\omega}) &= 1 \quad (\text{誤差} \pm \delta_1 \text{以内}, 0 < \omega < \omega_p) \\ D(e^{j\omega}) &= 0 \quad (\text{誤差} \pm \delta_2 \text{以内}, \omega_s < \omega < \pi) \end{aligned} \quad (7)$$

[0066] However, when  $R$  is given, it is  $\delta_1$  and  $\delta_2$ . The ratio can be specified although a value cannot be specified as arbitration.  $W(ejw)$  is  $W_2$  at constant value  $W_1$  and an inhibition zone in a pass band. It carries out and is  $W_1$ .  $\delta_1 = W_2$   $\delta_2$  It chooses so that it may be materialized. For example,  $W_1 = 1$ ,  $W_2 = \delta_1 / \delta_2$  It chooses. The following alternation theorem is realized at this time.

[0067] a theorem (R-1) — a necessary and sufficient condition for the following cosine series  $P(ejw)$  to be the Chebyshev approximation with the best weight to an objective characteristic in the section  $(0, \pi)$  of  $w$  — (1) the frequency in which  $E(ejw)$  takes a time and extremal value at least  $(R+1)$  in the section  $(0, \pi)$  —  $w_0 < w_1 < w_2 < \dots < w_{R-1} < w_R$  — it carries out.

(2) It is that the absolute value of all extremal value is [ whose signs of adjacent extremal value differ ] equal. That is, the following conditions are satisfied.

[0068]

[Equation 8]

$$\begin{aligned} E(e^{j\omega_i}) \cdot E(e^{j\omega_{i+1}}) &< 0 \quad (i=0, 1, \dots, R-1) \\ |E(e^{j\omega_i})| &= |E(e^{j\omega_{i+1}})| \quad (i=0, 1, \dots, R-1) \end{aligned} \quad (8)$$

[0069] Therefore,  $|E(ejw_i)|$  is equal to the maximum of  $|E(ejw)|$  within the section.

[0070] The REMUZU exchange algorithm (Remez Exchange Algorithm) based on an alternation theorem is in the technique of obtaining best Chebyshev approximation (refer to Rabiner, L.R., McClellan, J.H. and Parks, T.W.: "FIR Digital Filter Design Techniques Using Weighted Chebyshev Approximation", Proc. IEEE, Vol 63, April, pp.595-610, and 1975). Chebyshev approximation of the desired amplitude characteristic is carried out in a frequency domain, and, as for a REMUZU exchange algorithm, at least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the approximated amplitude characteristic so that the frequency point of arbitration may be passed.

[0071] Drawing 6 is the flow chart of the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration concerning this invention. The REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of concrete arbitration is as follows.

[0072] As shown in step0 drawing 6, initial setting is performed first (F101). In this initial setting, at least a straight line performs input and setting out of an initial extreme point for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the arbitration frequency point that you want to pass. The item set up concretely is as follows.

- They are the number of taps, that a phase FIR filter is as symmetrical with \*\* as - straight line, or the number of a \*\* symmetrical and - bands, the frequency of the ends of - each band, the amplitude value of a request of - each band and weighting to - each band, and the frequency and amplitude value ( $w_{R+1}$ ,  $D(ejw_{R+1})$ ,  $i=1, \dots, N_p$ ) of



a point to make it pass. [ amplitude value ]

– Frequency  $w$  which becomes extremal value in an approximation band (0) =  $w_k$  (0) ( $k=0, \dots, R$ )

However, right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

[0073] step1, next the Lagrange interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from a current extreme point are generated (F102). The necessary and sufficient condition from which the performance index of Chebyshev approximation shown by the above-mentioned formula (2) becomes min is shown by the alternation theorem. then, a basis [ theorem / alternation ] -- carrying out -- approximation error [ from the amplitude characteristic of the request in each extreme point ] with weight delta (i) It is equal, and it asks for following parameter  $p$  (n) so that a sign may carry out alternation.

[0074]

[Equation 9]

$$P(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{R-1} p(n) \cos(n\omega) \quad (9)$$

[0075] Namely, frequency point  $w$  (i) =  $w_k$  (i) ( $k=0, \dots, R$ ) The approximation error with weight of the formula (4) which can be set satisfies a degree type.

[0076]

[Equation 10]

$$\hat{W}(e^{j\omega_k}) \{ \hat{D}(e^{j\omega_k}) - P(e^{j\omega_k}) \} = (-1)^k \delta^0 \quad (k=0, 1, \dots, R) \quad (10)$$

[0077] It is a right superscript (i) because of the following and simplification. It omits. It is as follows when a formula (10) is transformed.

[0078]

[Equation 11]

$$P(e^{j\omega_k}) + \frac{(-1)^k \delta}{\hat{W}(e^{j\omega_k})} = \hat{D}(e^{j\omega_k})$$

$$\sum_{n=0}^{R-1} p(n) \cos(n\omega_k) + \frac{(-1)^k \delta}{\hat{W}(e^{j\omega_k})} = \hat{D}(e^{j\omega_k}) \quad (k=0, 1, \dots, R) \quad (11)$$

[0079] The equality of a frequency point which a formula (11) wants to pass as constraint in a frequency domain is added.

[0080]

[Equation 12]

$$P(e^{j\omega_k}) = \hat{D}(e^{j\omega_k})$$

$$\sum_{n=0}^{R-1} p(n) \cos(n\omega_k) = \hat{D}(e^{j\omega_k}), \quad (k = R+1, \dots, R+N_D) \quad (12)$$

[0081] It is as follows when matrix representation of a formula (11) and the formula (12) is carried out.

[0082]

[Equation 13]

$$\begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_0) & \cos(2\omega_0) & \dots & \cos((R-1)\omega_0) & \frac{1}{\hat{W}(e^{j\omega_0})} \\ 1 & \cos(\omega_1) & \cos(2\omega_1) & \dots & \cos((R-1)\omega_1) & \frac{-1}{\hat{W}(e^{j\omega_1})} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos(\omega_{R-1}) & \cos(2\omega_{R-1}) & \dots & \cos((R-1)\omega_{R-1}) & \frac{(-1)^{R-1}}{\hat{W}(e^{j\omega_{R-1}})} \\ 1 & \cos(\omega_R) & \cos(2\omega_R) & \dots & \cos((R-1)\omega_R) & \frac{(-1)^R}{\hat{W}(e^{j\omega_R})} \\ 1 & \cos(\omega_{R+1}) & \cos(2\omega_{R+1}) & \dots & \cos((R-1)\omega_{R+1}) & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos(\omega_{R+N_D}) & \cos(2\omega_{R+N_D}) & \dots & \cos((R-1)\omega_{R+N_D}) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p(0) \\ p(1) \\ \vdots \\ p(R-1) \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{D}(e^{j\omega_0}) \\ \hat{D}(e^{j\omega_1}) \\ \vdots \\ \hat{D}(e^{j\omega_{R-1}}) \\ \hat{D}(e^{j\omega_R}) \\ \hat{D}(e^{j\omega_{R+1}}) \\ \vdots \\ \hat{D}(e^{j\omega_{R+N_D}}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

[0083] However, since solving this formula has dramatically much computational complexity, it asks for delta analytically first.

[0084]

[Equation 14]

$$\delta = \frac{\sum_{j=0}^R \alpha_j \hat{D}(e^{j\omega_1})}{\sum_{j=0}^R (-1)^j \alpha_j \hat{W}(e^{j\omega_1})} \quad (14)$$

[0085]

[Equation 15]

$$\alpha_k = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^R \frac{1}{(x_k - x_j)} \quad (15)$$

[0086]

[Equation 16]

$$x_j = \cos(\omega_j) \quad (16)$$

[0087] It is the complementary function of the element of the k line (R+1) train of Matrix F. However, a formula (5) and a formula (6) are used for  $\hat{W}(ejw)$  and  $\hat{D}(ejw)$ , respectively. Next, it sets like a degree type using this delta.

[0088]

[Equation 17]

$$C_k = \hat{D}(e^{j\omega_1}) - (-1)^k \frac{\delta}{\hat{W}(e^{j\omega_1})} \quad (17)$$

(k=0,...,R)

[0089]

[Equation 18]

$$C_k = \hat{D}(e^{j\omega_1}), \quad (k=R+1, \dots, R+N_p) \quad (18)$$

[0090] In order to search for the amplitude characteristic of frequencies other than an extreme point, the Lagrange interpolation polynomial will be used this time as an interpolation polynomial interpolated using an extreme point and the frequency point which you want to pass. Namely, the Lagrange interpolation polynomial is used for  $P(ejw)$ , and it is  $w_k$  (k= 0, ..., R+Np) (calculated by carrying out interpolation which takes a value  $C_k$ ).

[0091]

[Equation 19]

$$P(e^{j\omega}) = \frac{\sum_{k=0}^{R-1} C_k \left( \frac{\beta_k}{x - x_k} \right)}{\sum_{k=0}^{R-1} \left( \frac{\beta_k}{x - x_k} \right)} \quad (19)$$

[0092]

[Equation 20]

$$\beta_k = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^{R-1} \frac{1}{(x_k - x_j)} \quad (20)$$

[0093]

[Equation 21]

$$x = \cos(\omega) \quad (21)$$

[0094] This result is equivalent to having solved the formula (13).

[0095] It judges [ be / it / the no by which asking for a new extreme point, and (F103) and optimal approximation were acquired from the amplitude characteristic searched for from step2 interpolation polynomial ] (F104). Each extreme point  $w_k$  as a result of the above-mentioned step1 It does not necessarily become the extremal value of the error function  $E$  with weight  $(e^{j\omega})$ , but is  $|E(e^{j\omega})| > \delta$  (i). The becoming point may exist. Then, new extreme point  $w(i+1)$  It determines from the all-points simultaneous changing method.

The all-points simultaneous changing method: Ask the whole approximation band for the extremal value of the approximation error with weight calculated from the extreme point used for interpolation the search for a rear spring supporter based on a degree type, and it is new extreme point  $w(i+1) = w_k(i+1)$  about it ( $k=0, 1, \dots, R$ ). It carries out and returns to processing of step1.

[0096]

[Equation 22]

$$E(e^{j\omega}) = \hat{W}(e^{j\omega}) \{ \hat{D}(e^{j\omega}) - P(e^{j\omega}) \} \quad (22)$$

[0097] When the location of extremal value will not change, suppose that optimal approximation was acquired. This is the terminating condition of a repeat and it progresses to the following processing of step3.

[0098] Drawing 7 is the conceptual diagram of the all-points changing method. When it explains briefly, the extreme point which the black dot in drawing 7 used for interpolation is expressed, and the approximation error  $E$  with weight  $(e^{j\omega})$  searched for from this extreme point is equivalent to a continuous line. Although the value of the approximation error with weight in the extreme point of a black dot serves as a white round head as shown in drawing 7 (A), actual extremal value is a square and shown frequency. Then, it is square and returns to processing of step1 by making the shown frequency into a new extreme point. Moreover, since the frequency of the extreme point used for interpolation and actual extremal value has shifted as shown in drawing 7 (B), it returns to processing of step1 by making the square and shown frequency into a new extreme point. And the extreme point used for interpolation as shown in drawing 7 (C) and the extreme point of a actual approximation error with

weight (white round head) Similarly a repeat is ended at the time of \*\*\*\*.

[0099] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step3 (F105). It asks from a degree type instead of asking from p (n), in case it asks for impulse response [ of N tap ] h (n) from the optimal-approximation function P (ejw).

[0100]

[Equation 23]

$$H(e^{j\omega}) = P(e^{j\omega}) \cdot Q(e^{j\omega}) \quad (23)$$

[0101]

[Equation 24]

場合1:

$$h(n) = \frac{1}{N} \left\{ H(0) + 2 \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}k\right) \cos\left(\frac{2\pi}{N}k(n+\frac{1}{2})\right) \right\} \quad (24)$$

[0102]

[Equation 25]

場合2:

$$h(n) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})\right) \sin\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})(n+\frac{1}{2})\right) \quad (25)$$

[0103]

[Equation 26]

場合3:

$$h(n) = -\frac{2}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}k\right) \sin\left(\frac{2\pi}{N}k(n+\frac{1}{2})\right) \quad (26)$$

[0104]

[Equation 27]

場合4:

$$h(n) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})\right) \cos\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})(n+\frac{1}{2})\right) \quad (27)$$

[0105] When there is no frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass and it is Np=0, it is the same as the usual REMUZU exchange algorithm.

[0106] Drawing 8 is drawing showing the frequency response of the low pass filter set up with the REMUZU exchange algorithm extended to the specification shown below so that the frequency point of arbitration might be passed.

[0107] a specification and number of taps; -- 24 taps and -- symmetric property ;

[symmetrical with \*\* -- 0108]

[A table 1]

- バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
1	$0 \leq w \leq 0.3\pi$	3	1
2	$0.5\pi \leq w \leq \pi$	0	1

[0109]

[A table 2]

- 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0110] Drawing showing the frequency response which displayed drawing 8 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 8 (B) with the value as it is, drawing where drawing 8 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 8 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood. Moreover, the continuous line shows among drawing the frequency characteristics acquired eventually. Moreover, a dotted line shows the break of a band and the black dot shows the specified frequency point.

[0111] The low pass filter set up with the REMUZU exchange algorithm extended so that the frequency point of the arbitration concerning this operation gestalt might be passed from drawing 8 especially drawing 8 (C), and (D) can check having passed the specified frequency point.

[0112] Next, the algorithm with which it is satisfied of the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone as a modification is explained. This algorithm is the magnitude of attenuation (approximation error with weight) of the specified inhibition zone to the low pass filter whose number of bands is 2, or a high pass filter using the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of arbitration. It is the algorithm to satisfy. In addition, in the following explanation, although described supposing a low pass filter, a "pass band" and a "inhibition zone" become reverse to apply to a high pass filter.

[0113] As an approach for satisfying the magnitude of attenuation of an inhibition zone, three kinds of approaches shown below exist. The 1st is the terminal point frequency  $w_p$  of a pass band. Adjustable and starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone They are immobilization and the approach which considers the number of taps as immobilization. The 2nd is the terminal point frequency  $w_p$  of a pass band. Immobilization and starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone It is the approach which considers adjustable and the number of taps as immobilization. The 3rd is the terminal point frequency  $w_p$  of a pass band. Immobilization and starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone They are immobilization and the approach which makes the number of taps adjustable.

[0114] the following and the 1st, 2nd, and 3rd approaches -- a drawing -- relation -- the price -- \*\*\*\* is explained later on.

[0115] The magnitude of attenuation dBs of the inhibition zone specified in the 1st approach \*\*\*\* and one-eyed approach Terminal point frequency  $w_p$  of the largest pass band to satisfy It will ask. Drawing 9 is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone. Drawing 10 is the algorithm which asks for a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and shows the parameter (variable) which becomes free, and the parameter (variable) fixed.

[0116] Here, it is as follows when the parameter which becomes free with this algorithm, the object, and the principles of an algorithm are enumerated.

- \* free parameter: Terminal point frequency  $w_p$  of a pass band it is .

- \* Object: Terminal point frequency  $w_p$  of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone The filter which it has is obtained.

- \* Principle: The starting point frequency of a pass band and the frequency of the ends of an inhibition zone are immobilization, and the terminal point frequency of a pass band is a free parameter. At the Chebyshev approximation by the REMUZU exchange algorithm, it is the terminal point frequency  $w_p$  of - pass band. Starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone The magnitude of attenuation of  $\rightarrow$  inhibition zone keeping away becomes large.

- Terminal point frequency  $w_p$  of a pass band Starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone The magnitude of attenuation of  $\rightarrow$  inhibition zone which approaches becomes small.

namely, starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone from -- frequency  $w_p$  (pre) near [ a far frequency ( $w=0$  neighborhood) ] the starting point frequency of  $w_p$  (cur) and an inhibition zone Location  $w_p$  of the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation which prepared as an initial frequency and was specified using the split half method It asks. In addition, although the most efficient approach is the dividing-into the golden section method in the linear search method of such a parameter, an understanding of an algorithm has adopted the easy split half method here.

[0117] The content of each step processings F102, F103, F104, and F105 of the algorithm explained to drawing 9 and the following is the same as the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration which was associated and was explained to drawing 6 . Therefore, the same sign as drawing 6 is used about these processings.

[0118] As shown in step10 drawing 9 , initial setting is performed first (F201). In this initial setting, at least a straight line sets up an input, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the initial

frequency of a split half method for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass. The item set up concretely is as follows.

- The number of taps, as symmetrical [ a phase FIR filter ] with \*\* as - straight line or a \*\* symmetrical, The number of bands - Two pieces, the starting point frequency of - pass band, the gain of - pass band, the frequency of the ends of - inhibition zone,
- The gain of an inhibition zone, weighting to - pass band and an inhibition zone, the frequency of the point which you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude delta 2 of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and - inhibition zone Frequency w which becomes extremal value in - approximation band (0) =  $w_k(0)$  ( $k=0, \dots, R$ )

However, right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

[0119] Moreover, drawing 11 is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone. As shown in drawing 11, in this example, the following values are given as an initial frequency of a split half method.

[0120]

[Equation 28]

$\omega_p^{(pre)}[0]$  = 阻止域の始点周波数の近傍

$\omega_p^{(cur)}[0]$  = 通過域の始点周波数の近傍 (28)

[0121]  $w_p[t]$  which is back A part shall express the number of cycles. Here, it is a frequency  $w_p$  (pre). [0] The minimum magnitude of attenuation [ in / the REMUZU exchange algorithm which receives and passes the frequency point of arbitration is performed, and / an inhibition zone ] dB (pre) [0] The following steps are explained asking.

[0122] The REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of step11 arbitration is performed (F102, F103, F104). Specifically by processing F102, it is  $w_p$  (cur). [t] Generation is generated for the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the extreme point at the time, and the frequency point which you want to pass. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104.

[0123] step12, next the magnitude of attenuation of an inhibition zone are investigated (F206). The minimum magnitude of attenuation [ in / using the interpolation polynomial for which it asked by processing F102 / an inhibition zone ] dB s (the greatest approximation error delta 2 with weight) (cur) [t] It investigates.

[0124] The comparison with step13, next the magnitude of attenuation of the



specified inhibition zone is performed (F207). Specifically, it is the magnitude of attenuation dBs of the specified inhibition zone. When it compares and the following type (29) or the formula (30) is satisfied, it shifts to processing of step15 (F105). When not satisfied, it shifts to processing of step14 (F208).

[0125]

[Equation 29]

$$|dB_s^{(cur)}[t] - dB_s| < \epsilon_1 \quad (29)$$

[0126]

[Equation 30]

$$|\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]| < \epsilon_2 \quad (30)$$

[0127] However, epsilon 1 epsilon 2 The very small value is carried out.

[0128] The magnitude of attenuation dBs of the inhibition zone specified step14 In a comparison, when the above-mentioned formula (29) or the formula (30) is not satisfied, setting out of a band is changed (F208). Specifically, it is the terminal point frequency  $w_p^{(cur)}$  of a new pass band. [t+1] It sets up. The case of the first loop formation, and in the case of the loop formation after a two-times eye, it divides as the setting-up method, and explains.

[0129] In the first time : the first case, three cases shown in drawing 12 can be considered. Namely, frequency  $w_p^{(pre)}$  [0]  $w_p^{(cur)}$  [0] It receives and the case shown in drawing 12 (A), (B), and (C) can be considered. The case shown in drawing 12 (A) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is satisfied. In this case, starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone Near frequency  $w_p^{(pre)}$  [0] It considers as a solution and progresses to processing of step15. The case shown in drawing 12 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is not satisfied. In this case, in the present number of taps, since the specified magnitude of attenuation is unrealizable, that is displayed and it ends. The case shown in drawing 12 (C) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (31), and shifts to processing of step11. In addition, with how to give this initial frequency point, it is  $w_p^{(pre)}$  [0] It is satisfied and is  $w_p^{(cur)}$  [0] The case which is not satisfied does not exist.

[0130]

[Equation 31]

$$\begin{aligned} \omega_p^{(pre)}[1] &= \omega_p^{(cur)}[0] \\ \omega_p^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[0] + \omega_p^{(pre)}[0]) \\ dB^{(pre)}[1] &= dB^{(cur)}[0] \end{aligned} \quad (31)$$

[0131] A two-times eye or subsequent ones: In after a two-times eye, two cases

shown in drawing 13 can be considered. It sets to how to decide the new frequency after a two-times eye, and is  $w_p^{(pre)}$ . The magnitude of attenuation dBs surely specified as  $[t+1]$ . The frequency to satisfy is saved. Frequency  $w_p^{(pre)}[t]$   $w_p^{(cur)}[t]$ . It receives and the case shown in drawing 13 (A) and (B) can be considered. The case shown in drawing 13 (A) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (32), and shifts to the following processing of step11. In addition, it is always  $w_p^{(pre)}$ .  $[t]$  Since the frequency with which were satisfied of the specified magnitude of attenuation comes, it is  $w_p^{(pre)}$ .  $[t]$  The case which is not satisfied does not exist. [0132]

[Equation 32]

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(pre)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] + \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB^{(pre)}[t+1] &= dB^{(pre)}[t]\end{aligned}\quad (32)$$

[0133] The case shown in drawing 13 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is satisfied. In this case, it carries out like the following type (33), and shifts to the following processing of step11.

[0134]

[Equation 33]

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB^{(pre)}[t+1] &= dB^{(cur)}[t]\end{aligned}\quad (33)$$

[0135] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step15 (F105). That is, at least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic acquired eventually.

[0136] Drawing 14 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "a filter with the terminal point frequency of the greatest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 14 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 14 (B) with the value as it is, drawing where drawing 14 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 14 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0137] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0138] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which passes the

frequency point of arbitration.

- terminal point frequency  $w_p$  of a variable: pass band to ask for -40dB or less of magnitude of attenuation of 24 taps, \*\* symmetrical, and an inhibition zone it is .

[0139]

[A table 3]

- バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$0.5\pi \leq w \leq \pi$	0	1

[0140]

[A table 4]

- 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0141] In addition, the continuous line shows the frequency response of a low pass filter with the terminal point frequency of the greatest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone in drawing 14 .

Moreover, a dotted line shows the break of the band given beforehand, and the black dot shows the specified frequency point.

[0142] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 14 (A). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 14 (C) and (D).

[0143] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter with the terminal point frequency of the greatest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" concerning this invention has the good frequency response characteristic so that drawing 14 may show.

[0144] The magnitude of attenuation dBs of the inhibition zone specified in the 2nd approach, next 2nd approach Starting point frequency  $w_s$  of the smallest inhibition zone to satisfy It will ask. A flow chart for that will become equivalent to drawing 9 referred to in the 1st approach. Drawing 15 is the algorithm which asks for a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and shows the parameter (variable) which becomes free, and the parameter (variable) fixed.

[0145] Here, it is as follows when the parameter which becomes free with this algorithm, the object, and the principles of an algorithm are enumerated.

\* free parameter: Starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone it is .

\* Object: Starting point frequency  $w_s$  of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone The filter which it has is obtained.

\* Principle: The frequency of the ends of a pass band and the terminal point frequency of an inhibition zone are immobilization, and the starting point frequency of an inhibition zone is a free parameter. the Chebyshev approximation by the REMUZU exchange algorithm – starting point frequency  $w_s$  of this inhibition zone Terminal point frequency  $w_p$  of a pass band The magnitude of attenuation of  $\rightarrow$  inhibition zone keeping away becomes large.

– starting point frequency  $w_s$  of this inhibition zone Terminal point frequency  $w_p$  of a pass band The magnitude of attenuation of  $\rightarrow$  inhibition zone which approaches becomes small.

Namely, frequency  $w_s$  (pre) far from the terminal point frequency of a pass band Frequency  $w_s$  (cur) near the terminal point frequency of a pass band Location  $w_s$  of the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation which prepared as an initial frequency and was specified using the split half method It asks. In addition, also in this case, although the most efficient approach is the dividing-into the golden section method in the linear search method of such a parameter, an understanding of an algorithm has adopted the easy split half method here.

[0146] Moreover, the content of each step processings F102, F103, F104, and F105 of the algorithm explained to drawing 9 and the following is the same as the REMUZU exchange algorithm which took into consideration the frequency response of the pre-filter which was associated and was explained to drawing 6 like the case of the 1st approach. Therefore, the same sign as drawing 6 is used about processing here.

[0147] As shown in step20 drawing 9, initial setting is performed first (F201). In this initial setting, at least a straight line sets up an input, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the initial frequency of a split half method for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass. The item set up concretely is as follows.

– The number of taps, as symmetrical [ a phase FIR filter ] with \*\* as – straight line or a \*\* symmetrical, The number of bands – The frequency of the ends of two piece and a pass band, the gain of – pass band, the terminal point frequency of – inhibition zone, – The gain of an inhibition zone, weighting to – pass band and an inhibition zone, the frequency of the point which you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude delta 2 of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and – inhibition zone Frequency  $w$  which becomes extremal value in – approximation band  $(0) = w_k(0) (k= 0, \dots, R)$

However, right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

[0148] Moreover, drawing 16 is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for a filter with the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone. As shown in drawing 16, in this example, the following values are given as an initial frequency of a

split half method.

[0149]

[Equation 34]

$$\begin{aligned}\omega_s^{(pre)}[0] &= \text{通過域の終点周波数の近傍} \\ \omega_s^{(cur)}[0] &= \text{阻止域の終点周波数の近傍}\end{aligned}\quad (34)$$

[0150]  $w_s[t]$  which is back A part shall express the number of cycles. Here, it is a frequency  $w_s$  (pre). [0] The minimum magnitude of attenuation [ in / the REMUZU exchange algorithm which receives and passes the frequency point of arbitration is performed, and / an inhibition zone ] dB (pre) [0] The following steps are explained asking.

[0151] The REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of step21 arbitration is performed (F102, F103, F104). Specifically by processing F102, it is  $w_s$  (cur). [t] Generation is generated for the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the extreme point at the time. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104.

[0152] step22, next the magnitude of attenuation of an inhibition zone are investigated (F206). The minimum magnitude of attenuation [ in / using the interpolation polynomial for which it asked by processing F102 / an inhibition zone ] dB s (the greatest approximation error  $\delta_2$  with weight) (cur) [t] It investigates.

[0153] The comparison with step23, next the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone is performed (F207). Specifically, it is the magnitude of attenuation dBs of the specified inhibition zone. When it compares and the following type (35) or the formula (36) is satisfied, it shifts to processing of step25 (F105). When not satisfied, it shifts to processing of step24 (F208).

[0154]

[Equation 35]

$$|dB_s^{(cur)}[t] - dB_s| < \varepsilon_1 \quad (35)$$

[0155]

[Equation 36]

$$|\omega_s^{(cur)}[t] - \omega_s^{(pre)}[t]| < \varepsilon_2 \quad (36)$$

[0156] However,  $\varepsilon_1$   $\varepsilon_2$  It considers as a very small value.

[0157] In the comparison with the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step24, when the above-mentioned formula (35) or the formula (36) is not satisfied, setting out of a band is changed (F208). Specifically, it is the starting point frequency  $w_s$  (cur) of a new inhibition zone. [t+1] It sets up. The case of the first loop formation, and in the case of the loop formation after a two-times eye, it divides

as the setting-up method, and explains.

[0158] In the first time : the first case, three cases shown in drawing 17 can be considered. Namely, frequency  $w_s$  (pre) [0]  $w_s$  (cur) [0] It receives and the case shown in drawing 17 (A), (B), and (C) can be considered. The case shown in drawing 17 (A) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is satisfied. In this case, frequency  $w_s$  (pre) near  $w=0$  [0] It considers as a solution and progresses to processing of step25. The case shown in drawing 17 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is not satisfied. In this case, in the present number of taps, since the specified magnitude of attenuation is unrealizable, that is displayed and it ends. The case shown in drawing 17 (C) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (37), and shifts to processing of step21. In addition, with how to give this initial frequency point, it is  $w_s$  (pre). [0] It is satisfied and is  $w_s$  (cur). [0] The case which is not satisfied does not exist.

[0159]

[Equation 37]

$$\begin{aligned}\omega_s^{(pre)}[1] &= \omega_s^{(cur)}[0] \\ \omega_s^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[0] + \omega_s^{(pre)}[0]) \\ dB_s^{(pre)}[1] &= dB_s^{(cur)}[0]\end{aligned}\tag{37}$$

[0160] A two-times eye or subsequent ones: In after a two-times eye, two cases shown in drawing 18 can be considered. how to decide the new frequency after a two-times eye -- setting --  $w_s$  (pre) [t+1] \*\*\*\* -- the surely specified magnitude of attenuation dBs The frequency to satisfy will be saved. Frequency  $w_s$  (pre) [t]  $w_s$  (cur) [t] It receives and the case shown in drawing 18 (A) and (B) can be considered. The case shown in drawing 18 (A) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (38), and shifts to the following processing of step21. In addition, it is always  $w_s$  (pre). [t] Since the frequency with which were satisfied of the magnitude of attenuation comes, it is  $w_s$  (pre) [t]. The case which is not satisfied does not exist.

[0161]

[Equation 38]

$$\begin{aligned}\omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(pre)}[t] \\ \omega_s^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] + \omega_s^{(pre)}[t]) \\ dB_s^{(pre)}[t+1] &= dB_s^{(pre)}[t]\end{aligned}\tag{38}$$

[0162] The case shown in drawing 18 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is satisfied. In this case, it carries out like the following type (39), and shifts to the following processing of step21.

[0163]

[Equation 39]

$$\begin{aligned}\omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] \\ \omega_s^{(cur)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] - \omega_s^{(pre)}[t]) \\ dB_s^{(pre)}[t+1] &= dB_s^{(cur)}[t]\end{aligned}\quad (39)$$

[0164] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step25 (F105). That is, at least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic acquired eventually.

[0165] Drawing 19 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "a filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 19 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 19 (B) with the value as it is, drawing where drawing 19 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 19 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0166] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0167] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of arbitration.

- starting point frequency  $\omega_s$  of a variable:inhibition zone to ask for -40dB or less of magnitude of attenuation of 24 taps, \*\* symmetrical, and an inhibition zone it is .

[0168]

[A table 5]

• バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq \omega \leq 0.3\pi$	3	1
阻止域	$\omega_s \leq \omega \leq \pi$	0	1

[0169]

[A table 6]

• 指定周波数点

周波数	利得
$\omega = 0$	3
$\omega = 2\pi/3$	0

[0170] In addition, it sets in drawing 19 and the continuous line shows the frequency response of a low pass filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone. Moreover, a dotted line shows the break of the band given beforehand, and a black dot specifies and shows the frequency point.

[0171] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 19 (A). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 19 (C) and (D).

[0172] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" concerning this invention has the good frequency response characteristic so that drawing 19 may show.

[0173] The magnitude of attenuation dBs of the inhibition zone specified as the 3rd approach last in the 3rd approach It will ask for the minimum number N of taps to satisfy. Drawing 20 is the flow chart \*\*\*\* Fig. of the algorithm which asks for the filter of the minimum number of taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[0174] Here, it is as follows when the parameter which becomes free, the object, and the principles of an algorithm are enumerated with this algorithm.

\* Free parameter: It is the number of taps.

\* Object: The filter of the number of the minimum taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone is obtained.

\* Principle: All the variables of a band are an increase of one tap, and \*\* about the number of taps, when the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone cannot be satisfied, since it is immobilization.

[0175] Moreover, the content of each step processings F102, F103, and F104 of the algorithm explained to drawing 20 and the following and F105\*\* is the same as the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration which was associated and was explained to drawing 6 like the case of the 1st approach. Moreover, the content of processing F206 is the same as that of the processing which was associated and was explained to drawing 9 like the case of the 2nd approach. Therefore, about processing here, the same sign as drawing 6 and drawing 9 is used.

[0176] As shown in step30 drawing 20 , initial setting is performed first (F401). In this initial setting, at least a straight line performs input and setting out of an initial extreme point for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass. The item set up concretely is as follows.

At least the number of initial taps, and – straight line – A phase FIR filter The number of symmetrical with \*\* or a \*\* symmetrical, and – bands Two pieces, the starting point frequency and terminal point frequency of – each band, – The gain of each band, weighting of – each band, the frequency of a point that you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude delta 2 of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and – inhibition zone Frequency w which becomes extremal value in – approximation band  $(0) = w_k(0) (k = 0, \dots, R)$



However, right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

[0177] The REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of step31 arbitration is performed (F102, F103, F104). Specifically by processing F102, it is w p (cur). Generation is generated for the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the extreme point at the time of [t], and the frequency point which you want to pass. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104.

[0178] step32, next the magnitude of attenuation of an inhibition zone are investigated (F206). The minimum magnitude of attenuation [ in / using the interpolation polynomial for which it asked by processing F102 / an inhibition zone ] dB s (the greatest approximation error delta 2 with weight) (cur) [t] It investigates.

[0179] The comparison with step33, next the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone is performed (F412). Specifically, it is the magnitude of attenuation dBs of the specified inhibition zone. When it compares and the following type (40) is satisfied, it shifts to processing of step35 (F105). When not satisfied, it shifts to processing of step34 (F413).

[0180]

[Equation 40]

$$dB_s^{(cur)}[t] < dB_s \quad (40)$$

[0181] The increase of step341 tap, and \*\* (F413). That is, the current number of taps is shifted to 1 tap increase coconut and processing of step30.

[0182] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step35 (F105). That is, at least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic acquired eventually.

[0183] Drawing 21 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the minimum number of taps which realizes the magnitude of attenuation of an inhibition zone." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 21 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 21 (B) with the value as it is, drawing where drawing 21 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 21 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0184] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0185] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of arbitration.

- A variable to ask for -60dB or less of magnitude of attenuation of number of initial taps 10 tap, \*\* symmetrical, and an inhibition zone : it is the number N of taps.

[0186]

[A table 7]

• バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq \omega \leq 0.3\pi$	3	1
阻止域	$0.5\pi \leq \omega \leq \pi$	0	1

[0187]

[A table 8]

• 指定周波数点

周波数	利得
$\omega = 0$	3
$\omega = 2\pi/3$	0

[0188] In addition, the continuous line shows the frequency response of the low pass filter of the minimum number of taps (36 taps) from which the magnitude of attenuation of an inhibition zone is set to  $-60\text{dB}$  or less in drawing 21. Moreover, a dotted line shows the break of the band given beforehand, and the black dot shows the specified frequency point.

[0189] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 21 (A). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 21 (C) and (D).

[0190] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for the "number of taps of the min which realizes the magnitude of attenuation of an inhibition zone" concerning this invention has the good frequency response characteristic so that drawing 21 may show.

[0191] Next, as the 2nd modification, the magnitude of attenuation of an inhibition zone is satisfied and the algorithm which asks for the filter which passes the frequency point of a transient region is explained.

[0192] Here, it is as follows when the parameter which becomes free with this algorithm, the object, and the principles of an algorithm are enumerated.

\* free parameter: Terminal point frequency  $\omega_p$  of a pass band Starting point frequency  $\omega_s$  of an inhibition zone it is .

\* Object: The magnitude of attenuation  $\text{dBs}$  of an inhibition zone It is satisfied and is the frequency  $\omega_c$  of a transient region. Magnitude of attenuation  $\text{dBc}$  The band to pass is determined. Namely, specific frequency  $\omega_c$  of a transient region Magnitude of attenuation  $\text{dBc}$  Terminal point frequency  $\omega_p$  of largest pass band that becomes Starting point frequency  $\omega_s$  of the smallest inhibition zone It obtains.

\* Principle: The starting point frequency of a pass band and the terminal point frequency of an inhibition zone are immobilization, and it is the terminal point frequency  $\omega_p$  of a pass band. Starting point frequency  $\omega_s$  of an inhibition zone It is a free parameter. Since there are two free parameters, it cannot be decided

appropriately that it moves simultaneously. Then, parameter of one of the two is fixed and it asks for another [ which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone ] parameter. Frequency  $w_c$  of a transient region Magnitude of attenuation dBc The parameter which was being fixed is changed when not passing. By repeating repeatedly [ above ], it is the magnitude of attenuation dBc at the frequency  $w_c$  of a transient region. The band to pass is determined. Since "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" has in two kinds of approaches, i.e., the 1st, and the approach of asking for the parameter with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone has "a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" in the 2nd, order is explained for the algorithm which used each as the base later on.

[0193] Drawing 22 is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region. First, it relates with drawing 22 - drawing 27 , and the algorithm which used "the filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" as the base is explained.

[0194] That is, with this algorithm, the algorithm which asks for "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" is used. The policy of a concrete algorithm is  $w_s$  considering the above-mentioned algorithm as an inside loop formation, as shown in drawing 23 . It asks and is  $w_p$  to an outside further. The loop formation for asking is put and the parameter of a band is determined. That is, it is the terminal point frequency  $w_p$  of a pass band at an outside loop formation. It fixes and is the magnitude of attenuation dBs of an inhibition zone at an inside loop formation.

Starting point frequency  $w_s$  of the inhibition zone to satisfy It asks. the time of looking for "a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", when having not passed the point ( $w_c$  and dBc) of the transient region specified by the amplitude characteristic searched for -- the same --  $w_p$  It searches using a split half method. Although a concrete algorithm is shown below, since the algorithm which asks for "the filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" which is an inside loop formation is the same, explanation is omitted.

[0195] Moreover, the content of each step processings F102, F103, and F104 of the algorithm explained to drawing 22 and the following and F105\*\* is the same as the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration which was associated and was explained to drawing 6 like the case of the 1st approach. Moreover, the content of processings F206, F207, and F208 is the same as

that of the algorithm of the processing which was associated and was explained to drawing 9 , i.e., "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", like the case of the 2nd approach. Therefore, about processing here, the same sign as drawing 6 and drawing 9 is used.

[0196] step40 -- first, as shown in drawing 22 , initial setting is performed (F301). In this initial setting, at least a straight line sets up an input, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the initial frequency of a split half method for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass. The item set up concretely is as follows.

- The number of taps, as symmetrical [ a phase FIR filter ] with \*\* as - straight line or a \*\* symmetrical, The number of bands - Starting point frequency  $w_s = 0$  of two pieces and - pass band, the gain of - pass band, - The gain of terminal point frequency  $w_p = \pi$  of an inhibition zone, and - inhibition zone, weighting to - pass band and an inhibition zone, - The frequency of the point which you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude  $\delta$  of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and - inhibition zone Frequency  $w_c$  of - transient region Frequency  $w$  which becomes extremal value in the magnitude of attenuation dBc and - approximation band  $(0) = w_k(0)$  ( $k = 0, \dots, R$ )

However, right superscript (i). The count of a repeat is expressed.

[0197] Moreover, drawing 24 is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region. As shown in drawing 24 , in this example, it considered as the initial frequency of a split half method, and the following values are given.

[0198]

[Equation 41]

$\omega_p^{(pre)}[0] = \text{通過域の始点周波数の近傍}$

$\omega_p^{(cur)}[0] = \omega_c \text{の近傍} \quad (41)$

[0199]  $w_p[t]$  which is back A part shall express the number of cycles. Here, it is a frequency  $w_p$  (pre). [0] The specified magnitude of attenuation [ in / the REMUZU exchange algorithm which receives and passes the frequency point of arbitration is performed, and / an inhibition zone ] dBs Starting point frequency  $w_s$  (pre) of the minimum inhibition zone to satisfy [0] is calculated and it is  $w_c$  at that time. Gain dB  $c$  which can be set (pre) [0] The following steps are explained being obtained.

[0200] The algorithm which calculates step41 "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" is performed (F102, F103, F104, F206, F207, F208). Specifically by processing F102, it is  $w_p$  (cur). [t] The interpolation polynomial which

interpolates the amplitude characteristic from the extreme point at the time and the frequency point which you want to pass is generated. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104. Next, in processing F206, the minimum magnitude of attenuation (the greatest approximation error with weight) in an inhibition zone is calculated. Next, starting point frequency  $w_s$  of the smallest inhibition zone with which it is satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone in processing F207. The terminating condition of the algorithm which asks for the filter which it has is acquired. Moreover, it sets to processing F208 and is the starting point frequency  $w_s$  (cur) of a new inhibition zone. It sets up.

[0201] The magnitude of attenuation of the frequency specified as step42, next a transient region is investigated (F309). Frequency  $w_c$  specified as the transient region in processing F102 using the Lagrange interpolation polynomial which was able to be found eventually with the algorithm which asks for "the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" The receiving magnitude of attenuation  $dB_c$  (cur) [t] It investigates.

[0202] The comparison with the assignment magnitude of attenuation of step43 transient region is performed (F310). Frequency  $w_c$  of a transient region The receiving magnitude of attenuation  $dB_c$  When it compares and the following type (42) or the formula (43) is satisfied, it shifts to processing of step45 (F105), and when not satisfied, it shifts to processing of step44 (F311).

[0203]

[Equation 42]

$$|dB_c^{(cur)}[t] - dB_c| < \varepsilon_1 \quad (42)$$

[0204]

[Equation 43]

$$|\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]| < \varepsilon_2 \quad (43)$$

[0205] However, epsilon 1 epsilon 2 The very small value is carried out.

[0206] Frequency  $w_c$  of step44 transient region The receiving magnitude of attenuation  $dB_c$  In a comparison, when the above-mentioned formula (42) or the formula (43) is not satisfied, setting out of a band is changed (F311). Specifically, it is the terminal point frequency  $w_p$  (cur) of a new pass band. [t+1] It sets up. The case of the first loop formation, and in the case of the loop formation after a two-times eye, it divides as the setting-up method, and explains.

[0207] In the first time : the first case, three cases shown in drawing 25 can be considered. Namely, frequency  $w_p$  (pre) [0]  $w_p$  (cur) [0] It receives and the case shown in drawing 25 (A), (B), and (C) can be considered. The case shown in drawing

25 (A) is the magnitude of attenuation dBc which specified both. It is the satisfied case. In this case, large frequency  $w_p^{(cur)}[0]$  It considers as a solution and progresses to processing of step45. The case shown in drawing 25 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is not satisfied. In this case, in the present number of taps, since the specified magnitude of attenuation is unrealizable, that is displayed and it ends. The case shown in drawing 25 (C) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (44), and shifts to processing of step41. In addition, with how to give this initial frequency, it is  $w_p^{(cur)}[0]$  It is satisfied and is  $w_p^{(pre)}[0]$ . The case which is not satisfied does not exist.

[0208]

[Equation 44]

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[1] &= \omega_p^{(pre)}[0] \\ \omega_p^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[0] + \omega_p^{(pre)}[0]) \\ dB_c^{(pre)}[1] &= dB_c^{(pre)}[0]\end{aligned}\quad (44)$$

[0209] A two-times eye or subsequent ones: In after a two-times eye, two cases shown in drawing 26 can be considered. new frequency  $w_p^{(cur)}$  after a two-times eye  $[t+1]$  how to determine -- setting --  $w_p^{(pre)}[t+1]$  \*\*\*\* -- surely -- the assignment magnitude of attenuation dBc The frequency to satisfy is saved. Frequency  $w_p^{(pre)}[t]$   $w_p^{(cur)}[t]$  The case which it receives and is shown in drawing 26 (A) and (B) can be considered. The case shown in drawing 26 (A) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, the following formula (45) is processed and it shifts to the following processing of step41. In addition, it is always  $w_p^{(pre)}[t]$  Since the frequency with which were satisfied of the specified magnitude of attenuation comes, it is  $w_p^{(pre)}[t]$ . The case which is not satisfied does not exist.

[0210]

[Equation 45]

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(pre)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] + \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(pre)}[t]\end{aligned}\quad (45)$$

[0211] The case shown in drawing 26 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is satisfied. In this case, the following formula (46) is processed and it shifts to the following processing of step41.

[0212]

[Equation 46]

$$\begin{aligned}
\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] \\
\omega_p^{(cur)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]) \\
dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(cur)}[t]
\end{aligned} \tag{46}$$

[0213] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step45 (F105). That is, at least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic acquired eventually.

[0214] Drawing 27 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region" which used as the base the algorithm which asks for "a filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 27 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 27 (B) with the value as it is, drawing where drawing 27 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 27 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0215] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0216] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which asks for the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

– terminal point frequency  $w_p$  of the variable:pass band which the magnitude of attenuation of passage, 24 taps, \*\* symmetrical, and an inhibition zone wants to ask for 0.4pi and 12dB -40dB or less Starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone it is .

[0217]

[A table 9]

• バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$w_s \leq w \leq \pi$	0	1

[0218]

[A table 10]

• 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0219] In addition, in drawing 27 , a continuous line satisfies the magnitude of

attenuation of an inhibition zone, and shows the frequency response of the low pass filter which passes the frequency point of a transient region. Moreover, the black dot shows the specified frequency point (the frequency point of a transient region, and frequency point of arbitration).

[0220] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 27 (A). It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the transient region from drawing 27 (B). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 27 (C) and (D).

[0221] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region" which used as the base the algorithm which asks for "a filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone" has the good frequency response characteristic so that drawing 27 may show.

[0222] Next, it relates and the algorithm which used as the base the algorithm which asks for a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone is explained to drawing 22, drawing 28 – drawing 32. The flow chart in this case satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and will become equivalent to drawing 22 referred to in the algorithm which asks for the filter which passes the frequency point of a transient region.

[0223] With this algorithm, the algorithm which asks for "a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" is used. The policy of a concrete algorithm is wp considering the above-mentioned algorithm as an inside loop formation, as shown in drawing 28. It asks and is ws to an outside further. The loop formation for asking is put and the parameter of a band is determined. That is, it is the starting point frequency ws of an inhibition zone at an outside loop formation. It fixes and is the assignment magnitude of attenuation dBs of an inhibition zone at an inside loop formation. Terminal point frequency wp of the pass band to satisfy It asks. the time of looking for "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", when having not passed the point (wc and dBc) of the transient region specified by the amplitude characteristic searched for — the same — ws It searches using a split half method. Although an algorithm is shown below concretely, since the algorithm which asks for "the filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" which is an inside loop formation is the same, explanation is omitted.

[0224] Moreover, the week of the arbitration which related with drawing 6 the content of each step processings F102, F103, and F104 of the algorithm explained to drawing 22 and the following and F105\*\* like the case of the 1st approach, and was explained



is the same as the REMUZU exchange algorithm which passes several points. Moreover, the content of processings F206, F207, and F208 is the same as that of the algorithm of the processing which was associated and was explained to drawing 9, i.e., "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", like the case of the 2nd approach. Therefore, about processing here, the same sign as drawing 6 and drawing 9 is used.

[0225] As shown in step50 drawing 22, initial setting is performed first (F301). In this initial setting, at least a straight line sets up an input, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the initial frequency of a split half method for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass. The item set up concretely is as follows.

- The number of taps, as symmetrical [ a phase FIR filter ] with \*\* as - straight line or a \*\* symmetrical, The number of bands - Two pieces, the starting point frequency  $w=0$  of - pass band, the gain of - pass band, - The gain of terminal point frequency  $w=\pi$  of an inhibition zone, and - inhibition zone, weighting to - pass band and an inhibition zone, - The frequency of the point which you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude delta 2 of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and - inhibition zone Frequency  $w_c$  of - transient region Frequency  $w$  which becomes extremal value in the magnitude of attenuation dBc and - approximation band  $(0) = w_k(0) (k=0, \dots, R)$

However, right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

[0226] Moreover, drawing 29 is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region. As shown in drawing 29, in this example, the following values are given as an initial frequency of a split half method.

[0227]

[Equation 47]

$$\omega_s^{(cur)}[0] = \text{阻止域の終点周波数の近傍} \quad (47)$$

[0228] another  $w_s(\text{pre})[0]$   $w_s$  which was able to be found with the algorithm which looks for "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" as a value as follows  $w_s(\text{pre})[0]$  \*\* -- it is carrying out.

[0229]

[Equation 48]

$$\omega_p^{(pre)}[0] = \text{通過域の始点周波数の近傍} \quad (48)$$

[0230] In addition,  $\omega_p$  which is [ an inhibition zone ] satisfied with this of the magnitude of attenuation although it should search as the following formula (57) properly speaking It is not found. Then,  $\omega_p$  The minimum value is the starting point frequency  $\omega_s$  of the inhibition zone with which it is satisfied of the magnitude of attenuation of the inhibition zone at this time since it is about 0.01. It is considering as the initial frequency.

[0231]

[Equation 49]

$$\omega_s^{(pre)}[0] = \omega_c \text{ の近傍} \quad (49)$$

[0232]  $\omega_s[t]$  which is back A part shall express the number of cycles. Here, it is a frequency  $\omega_s$  (pre). [0] The specified magnitude of attenuation [ in / it receives and the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of arbitration is performed, and / an inhibition zone ] dBs Terminal point frequency  $\omega_p$  (pre) of the greatest pass band to satisfy [0] is calculated and it is  $\omega_c$  at that time. Gain dB  $c$  which can be set (pre) [0] The following steps are explained being obtained.

[0233] The algorithm which calculates step51 "a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" is performed (F102, F103, F104, F206, F207, F208). Specifically by processing F102, it is  $\omega_s$  (cur). [t] The interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from the extreme point at the time and the frequency point which you want to pass is generated. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104. Next, in processing F206, the minimum magnitude of attenuation (the greatest approximation error with weight) in an inhibition zone is calculated. Next, terminal point frequency  $\omega_p$  of the largest pass band with which it is satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone in processing F207 The terminating condition of the algorithm which asks for the filter which it has is acquired. Moreover, it sets to processing F208 and is the starting point frequency  $\omega_p$  (cur) of a new inhibition zone. It sets up:

[0234] The magnitude of attenuation of the frequency specified as step52, next a transient region is investigated (F309). Frequency  $\omega_c$  specified as the transient region in processing F102 using the Lagrange interpolation polynomial which was able to be found eventually with the algorithm which asks for "the terminal point frequency of the largest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" The receiving magnitude of attenuation dB  $c$  (cur) It investigates.

[0235] The comparison with the magnitude of attenuation of the transient region specified step53 is performed (F310). Frequency  $\omega_c$  of the specified transient region The receiving magnitude of attenuation dB  $c$  When it compares and the following type (50) or the formula (51) is satisfied, it shifts to processing of step55 (F105), and when

not satisfied, it shifts to processing of step54 (F311).

[0236]

[Equation 50]

$$|dB_c^{(cur)}[t] - dB_c| < \epsilon_1 \quad (50)$$

[0237]

[Equation 51]

$$|\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]| < \epsilon_2 \quad (51)$$

[0238] However, epsilon 1 epsilon 2 The very small value is carried out.

[0239] Frequency  $\omega_c$  of step54 transient region The receiving magnitude of attenuation dBc In a comparison, when the above-mentioned formula (50) or the formula (51) is not satisfied, setting out of a band is changed (F311). Specifically, it is the starting point frequency  $\omega_s$  (cur) of a new inhibition zone. [t+1] It sets up. The case of the first loop formation, and in the case of the loop formation after a two-times eye, it divides as the setting-up method, and explains.

[0240] In the first time : the first case, three cases shown in drawing 30 can be considered. Namely, frequency  $\omega_s$  (pre) [0]  $\omega_s$  (cur) [0] It receives and the case shown in drawing 30 (A), (B), and (C) can be considered. The case shown in drawing 30 (A) is the magnitude of attenuation dBc which specified both. It is the satisfied case. In this case, large frequency  $\omega_s$  (cur) [0] It considers as a solution and progresses to processing of step55. The case shown in drawing 30 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is not satisfied. In this case, in the present number of taps, since the specified magnitude of attenuation is unrealizable, that is displayed and it ends. The case shown in drawing 30 (C) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (52), and shifts to processing of step51. In addition, with how to give this initial frequency, it is  $\omega_s$  (cur). [0] It is satisfied and is  $\omega_s$  (pre) [0]. The case which is not satisfied does not exist.

[0241]

[Equation 52]

$$\begin{aligned} \omega_s^{(pre)}[1] &= \omega_s^{(pre)}[0] \\ \omega_s^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[0] + \omega_s^{(pre)}[0]) \\ dB_c^{(pre)}[1] &= dB_c^{(pre)}[0] \end{aligned} \quad (52)$$

[0242] A two-times eye or subsequent ones: In after a two-times eye, two cases shown in drawing 31 can be considered. new frequency  $\omega_s$  (cur) after a two-times eye [t+1] how to determine -- setting --  $\omega_s$  (pre) [t+1] \*\*\*\* -- surely -- the assignment magnitude of attenuation dBc The frequency to satisfy is saved.

Frequency  $\omega_s^{(pre)}[t]$   $\omega_s^{(cur)}[t]$  The case which it receives and is shown in drawing 31 (A) and (B) can be considered. The case shown in drawing 31 (A) is a case where the magnitude of attenuation only specified by one of the two is satisfied. In this case, it carries out like the following type (53), and shifts to the following processing of step51. In addition, it is always  $\omega_s^{(pre)}[t]$ . Since the frequency with which were satisfied of the specified magnitude of attenuation comes, it is  $\omega_s^{(pre)}[t]$ . The case which is not satisfied does not exist.

[0243]

[Equation 53]

$$\begin{aligned}\omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(pre)}[t] \\ \omega_s^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] + \omega_s^{(pre)}[t]) \\ dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(pre)}[t]\end{aligned}\quad (53)$$

[0244] The case shown in drawing 31 (B) is a case where the magnitude of attenuation which specified both is satisfied. In this case, it carries out like the following type (54), and shifts to the following processing of step51.

[0245]

[Equation 54]

$$\begin{aligned}\omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] \\ \omega_s^{(cur)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] - \omega_s^{(pre)}[t]) \\ dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(cur)}[t]\end{aligned}\quad (54)$$

[0246] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step55 (F105). That is, at least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic acquired eventually.

[0247] Drawing 32 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region" which used as the base the algorithm which asks for "it is a filter about the terminal point frequency of the greatest pass band." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 32 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 32 (B) with the value as it is, drawing where drawing 32 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 32 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0248] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0249] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of arbitration of asking for the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an

inhibition zone.

– terminal point frequency  $w_p$  of the variable: pass band which the magnitude of attenuation of passage, 24 taps, \*\* symmetrical, and an inhibition zone wants to ask for  $0.4\pi$  and 12dB –40dB or less Starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone it is .

[0250]

[A table 11]

▪ バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$w_s \leq w \leq \pi$	0	1

[0251]

[A table 12]

▪ 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0252] In addition, in drawing 32 , a continuous line satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and shows the frequency response of the low pass filter which passes the frequency point of a transient region. Moreover, the black dot shows the specified frequency point (the frequency point of a transient region, and frequency point of arbitration).

[0253] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 32 (A). It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified as the transient region from drawing 32 (B). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 32 (C) and (D).

[0254] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region" which used as the base the algorithm which asks for "it is a filter about the terminal point frequency of the greatest pass band" has the good frequency response characteristic so that drawing 32 may show.

[0255] Next, the algorithm of the filter design of the number of the minimum taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone is explained to the REMUZU exchange algorithm which can change a band. Here, the algorithm which asks for the filter of the number of the minimum taps which realizes the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone is explained to the algorithm which searches for the above "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", and the algorithm which searches for the above "a filter with the

terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone."

[0256] Drawing 33 is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter of the number of the minimum taps which realizes the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[0257] It is as follows when the parameter which becomes free with this algorithm, the object, and the principles of an algorithm are enumerated.

\* Free parameter : the number of – taps and two kinds of approaches exist.

Terminal point frequency  $w_p$  of the 1st pass band It considers as adjustable and the starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone is fixed. Terminal point frequency  $w_p$  of the 2nd pass band It fixes and is the starting point frequency  $w_s$  of an inhibition zone. It considers as adjustable.

\* Object: The magnitude of attenuation dBs of the inhibition zone whose one of the variables of a band is adjustable and which was specified by carrying out an algorithm pair The filter of the number of the minimum taps to satisfy is obtained.

\* principle: 1 since the magnitude of attenuation which the number of taps was lacking and was specified cannot be realized when becoming "having no solution" by the loop formation of eye a time -- 1 the increase of the number of taps -- it carries out and tries again.

[0258] Moreover, the content of each step processings F102, F103, and F104 of the algorithm explained to drawing 33 and the following and F105\*\* is the same as the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration which was associated and was explained to drawing 6 like the case of the 1st approach. Moreover, the content of processings F201, F206, F207, and F208 is the same as that of the algorithm of the processing which was associated and was explained to drawing 9 , i.e., "a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", and the algorithm of "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" like the case of the 2nd approach. Therefore, about processing here, the same sign as drawing 6 and drawing 9 is used.

[0259] As shown in step60 drawing 33 , initial setting is performed first (F201). In this initial setting, at least a straight line sets up an input, setting out of an initial extreme point, assignment of the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and the initial frequency of a split half method for setting out of a phase FIR filter, setting out of a band, and the frequency point of arbitration [ arbitration ] to make it pass. The item set up concretely is as follows.

– The number of taps, as symmetrical [ a phase FIR filter ] with \*\* as – straight line or a \*\* symmetrical, The number of bands – Two pieces, the starting point frequency  $w=0$  of – pass band, the gain of – pass band, – The gain of terminal point frequency  $w=\pi$  of an inhibition zone, and – inhibition zone, weighting to – pass band and an

inhibition zone, – The frequency of the point which you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude delta 2 of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and – inhibition zone Frequency w which becomes extremal value in – approximation band (0) = wk (0) However (k= 0, ..., R), right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

– The input of the initial frequency of a split half method [0260] The REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of step61 arbitration is performed (F102, F103, F104). Specifically by processing F102, generation is generated for the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from an extreme point and the frequency point which you want to pass. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104.

[0261] step62, next the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone (the greatest approximation error with weight) It asks (F206).

[0262] It distinguishes whether the terminating condition of the search algorithm of a frequency which satisfies the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step63 is realized (F207). When a terminating condition is realized, and it shifts to processing of step67 (F105) and is not realized, it shifts to processing of step64 (F208).

[0263] When the terminating condition of the search algorithm of a frequency which satisfies the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step64 is not realized, setting out of a band is changed (F208).

[0264] The comparison with the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step65 is performed (F414). In setting-out modification of the band of processing F208, when becoming "having no solution" by the 1st loop formation, it shifts to processing of step66 (F414), and when other, it returns to processing of step61.

[0265] The increase of step661 tap, and \*\* (F415). The current number of taps is shifted to 1 tap increase coconut and the initialization process of step60 (F201).

[0266] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step67 (F105).

[0267] Drawing 34 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the minimum number of taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone."

Drawing showing the frequency response which displayed drawing 34 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 34 (B) with the value as it is, drawing where drawing 34 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 34 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0268] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0269] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of arbitration of asking for a filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

– The magnitude of attenuation of \*\* symmetrical and an inhibition zone is the starting point frequency  $w_s$  of a variable; tap several N, and an inhibition zone to ask -60dB or less [0270].

[A table 13]

• バンド:

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq 0.3\pi$	3	1
阻止域	$w_0 \leq w \leq \pi$	0	1

[0271]

[A table 14]

• 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0272] In addition, the continuous line shows the frequency response of the low pass filter of the minimum number of taps (17 taps) from which the magnitude of attenuation of an inhibition zone is set to -60dB or less in drawing 34. Moreover, a dotted line shows the break of the band given beforehand, and the black dot shows the specified frequency point.

[0273] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 34 (A). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 34 (C) and (D).

[0274] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the minimum number of taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" has the good frequency response characteristic so that drawing 34 may show.

[0275] Moreover, drawing 35 is drawing showing the frequency response of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the minimum number of taps which realizes the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 35 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 35 (B) with the value as it is, drawing where drawing 35 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 35 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0276] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

[0277] Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which passes the



frequency point of arbitration of asking for a filter with the terminal point frequency of the greatest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

– The magnitude of attenuation of \*\* symmetrical and an inhibition zone is the starting point frequency  $w_s$  of a variable; tap several  $N$ , and an inhibition zone to ask  $-60\text{dB}$  or less [0278].

[A table 15]

• バンド:

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$0.5\pi \leq w \leq \pi$	0	1

[0279]

[A table 16]

• 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0280] In addition, the continuous line shows the frequency response of the low pass filter of the minimum number of taps (17 taps) from which the magnitude of attenuation of an inhibition zone is set to  $-60\text{dB}$  or less in drawing 35. Moreover, a dotted line shows the break of the band given beforehand, and the black dot shows the specified frequency point.

[0281] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 35 (A). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 35 (C) and (D).

[0282] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the minimum number of taps which realizes the magnitude of attenuation of the specified inhibition zone" has the good frequency response characteristic so that drawing 35 may show.

[0283] Next, the magnitude of attenuation of an inhibition zone is satisfied and the algorithm which asks for the filter of the number of the minimum taps which passes the frequency point of a transient region is explained. Here, the algorithm which asks for the filter of the number of the minimum taps which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passes the frequency point of a transient region is explained to the algorithm which searches for the above "the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region."

[0284] Drawing 36 is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter of the number of the minimum taps which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[0285] It is as follows when the parameter which becomes free with this algorithm, the object, and the principles of an algorithm are enumerated.

\* Free parameter : starting point frequency  $w_s$ \* object of the terminal point frequency  $w_p$  and the inhibition zone of the number of - taps, and a pass band: The magnitude of attenuation dBs of the specified inhibition zone It is satisfied and is the frequency  $w_c$  of a transient region. Magnitude of attenuation dBc The filter of the number of the minimum taps to pass is obtained. Namely, specific frequency  $w_c$  of a transient region Magnitude of attenuation dBc Terminal point frequency  $w_p$  of largest pass band that becomes Starting point frequency  $w_s$  of the smallest inhibition zone It decides and the filter used as the minimum number of taps is obtained.

\* principle: since the magnitude of attenuation which the number of taps was lacking and was specified cannot be realized when becoming "having no solution" by the 1st loop formation -- the increase of the number of 1 taps -- it carries out and tries again. Moreover, when the frequency point of a transient region is unrealizable, the number of 1 taps is increased and it tries again.

[0286] Moreover, the content of each step processings F102, F103, and F104 of the algorithm explained to drawing 36 and the following and F105\*\* is the same as the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration which was associated and was explained to drawing 6 like the case of the 1st approach. Moreover, the content of processings F206, F207, and F208 is the same as that of the algorithm of the processing which was associated and was explained to drawing 9 , i.e., "a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone", or the algorithm of "a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone" like the case of the 2nd approach. Furthermore, the content of processings F301, F309, F310, and F311 is the same as that of the processing which was associated and was explained to drawing 22 , i.e., "the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the assignment magnitude of attenuation in the specific frequency of a transient region." Therefore, about processing here, drawing 6 , drawing 9 , and the same sign as drawing 22 are used.

[0287] As shown in step70 drawing 36 , initial setting is performed first (F301). Initial setting of the algorithm which asks for the filter which passes the magnitude of attenuation which satisfied the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and was specifically specified as the transient region is performed. The item set up concretely is as follows.

- The number of taps, as symmetrical [ a phase FIR filter ] with \*\* as - straight line or a \*\* symmetrical, The number of bands - Two pieces, the starting point frequency  $w=0$  of - pass band, the gain of - pass band, - The gain of terminal point frequency  $w=\pi$  of an inhibition zone, and - inhibition zone, weighting to - pass band and an

inhibition zone, – The frequency of the point which you want to pass, and the magnitude of attenuation dBs (that is, the magnitude delta 2 of the ripple of an inhibition zone is pointed out) of amplitude value and – inhibition zone Frequency  $w_k$  of – transient region Frequency  $w$  which becomes extremal value in the magnitude of attenuation dBc and – approximation band  $(0) = w_k(0)$  ( $k = 0, \dots, R$ )

However, right superscript (i) The count of a repeat is expressed.

– The input of the initial frequency of a split half method [0288] The REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of step71 arbitration is performed (F102, F103, F104). Specifically by processing F102, generation is generated for the interpolation polynomial which interpolates the amplitude characteristic from an extreme point. Subsequently, in processing F103, a new extreme point is determined from the amplitude characteristic searched for from the interpolation polynomial. And a repeat judgment of a REMUZU exchange algorithm is made in processing F104.

[0289] step72, next the minimum magnitude of attenuation in an inhibition zone (the greatest approximation error with weight) It asks (F206).

[0290] It distinguishes whether the terminating condition of the search algorithm of a frequency which satisfies the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step73 is realized (F207). When a terminating condition is realized, and it shifts to processing of step77 (F309) and is not realized, it shifts to processing of step74 (F208).

[0291] When the terminating condition of the search algorithm of a frequency which satisfies the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step74 is not realized, setting out of a band is changed (F208).

[0292] The comparison with the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step75 is performed (F414). In setting-out modification of the band of processing F208, when becoming "having no solution" by the 1st loop formation, it shifts to processing of step76 (F415), and when other, it returns to processing of step71.

[0293] The increase of step761 tap, and \*\* (F415). The current number of taps is shifted to 1 tap increase coconut and the initialization process of step70 (F301).

[0294] The magnitude of attenuation of the frequency which the terminating condition of the search algorithm of a frequency which satisfies the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step77 changed, and was specified as the \*\*\*\*\* case in the transient region is investigated (F309).

[0295] The comparison with the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step78 is performed (F310). When a terminating condition is realized, and it shifts to processing of step82 (F105) and is not realized, it shifts to processing of step79 (F311).

[0296] When step79 terminating condition is not realized, setting out of a band is changed (F311).

[0297] The comparison with the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified step80 is performed (F416). In setting-out modification of the band of processing F311, when becoming "having no solution" by the 1st loop formation, it shifts to processing of step81 (F417), and when other, it returns to processing of step71.

[0298] The increase of step811 tap, and \*\* (F417). The current number of taps is shifted to 1 tap increase coconut and the initialization process of step70 (F301).

[0299] At least a straight line asks for the multiplier of a phase FIR filter from the amplitude characteristic approximated step83 (F105).

[0300] Drawing 37 is drawing showing the frequency response characteristic of the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter of the minimum number of taps which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region." Drawing showing the frequency response which displayed drawing 37 (A) by the decibel, drawing showing the frequency response which displayed drawing 37 (B) with the value as it is, drawing where drawing 37 (C) expanded the gain 3 neighborhood, and drawing 37 (D) are drawings which expanded the gain 0 neighborhood.

[0301] The basic algorithm in this case, a variable to ask, and the assignment frequency point are as follows.

Basic algorithm: It is the REMUZU exchange algorithm which used as the base the algorithm which asks for the terminal point frequency of the greatest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone and which obtains the filter which passes the frequency point of a transient region.

– It is the starting point frequency  $w_s$  of the terminal point frequency  $w_p$  and the inhibition zone of the variable: tap several N, and the pass band which the magnitude of attenuation of passage, \*\* symmetrical, and an inhibition zone wants to ask for  $0.4\pi$  and 12dB -60dB or less [0302].

[A table 17]

• バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$w_s \leq w \leq \pi$	0	1

[0303]

[A table 18]

• 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

[0304] In addition, the continuous line shows the frequency response of the low pass filter of the minimum number of taps (17 taps) which serves as -12dB or less of

magnitude of attenuation by frequency  $0.4\pi$  of \*\*\*\*\* from which the magnitude of attenuation of an inhibition zone is set to  $-60\text{dB}$  or less in drawing 37. Moreover, a dotted line shows the break of the band given beforehand, and the black dot shows the specified frequency point.

[0305] It can check having realized the magnitude of attenuation of the inhibition zone specified from drawing 37 (A). It can check having passed the frequency point specified as the transient region from drawing 37 (B). Moreover, it can check having passed the frequency point specified from drawing 35 (C) and (D).

[0306] That is, the low pass filter obtained by the algorithm which asks for "the filter of the minimum number of taps which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region" has the good frequency response characteristic so that drawing 37 may show.

[0307]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, there is an advantage which becomes possible [ having the frequency response which passes the frequency point of arbitration ].

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the transversal mold circuitry of an FIR filter.

[Drawing 2] It is the enlarged drawing of the frequency-response and gain 1 neighborhood in the conventional approach.

[Drawing 3] An FIR filter is drawing in which at least a straight line shows the impulse response with a phase in four.

[Drawing 4] At least a straight line is drawing showing  $Q(e^{j\omega})$  and  $R$  to four cases of a phase FIR filter.

[Drawing 5] It is drawing showing the example of Chebyshev approximation with weight.

[Drawing 6] It is the flow chart of the REMUZU exchange algorithm which passes the frequency point of the arbitration of this invention.

[Drawing 7] It is drawing for explaining the method of determining the new extremal value of the approximation error  $E$  with weight  $(e^{j\omega})$ .

[Drawing 8] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing when specifying the frequency point of the arbitration of this invention.

[Drawing 9] It is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 10] It is drawing showing the parameter of the algorithm which asks for a

filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 11] It is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for a filter with the terminal point frequency of the largest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 12] It is drawing showing modification of band setting out in the first loop formation.

[Drawing 13] It is drawing showing modification of band setting out in the loop formation after a two-times eye.

[Drawing 14] It is drawing showing the frequency response of a filter with the terminal point frequency of the greatest pass band with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 15] It is drawing showing the parameter of the algorithm which asks for a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 16] It is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for a filter with the starting point frequency of the smallest inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 17] It is drawing showing modification of band setting out in the first loop formation.

[Drawing 18] It is drawing showing modification of band setting out in the loop formation after a two-times eye.

[Drawing 19] It is drawing showing the frequency response of a filter with the starting point frequency of the minimum inhibition zone with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 20] It is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter of the minimum number of taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 21] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing of the filter of the minimum number of taps which realizes the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 22] It is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 23] It is drawing showing the algorithm (1) which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 24] It is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 25] It is drawing showing modification of band setting out in the first loop formation.

[Drawing 26] It is drawing showing modification of band setting out in the loop formation after a two-times eye.

[Drawing 27] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing of the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 28] It is drawing showing the algorithm (2) which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 29] It is drawing showing the initial frequency of the split half method in the algorithm which asks for the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 30] It is drawing showing modification of band setting out in the first loop formation.

[Drawing 31] It is drawing showing modification of band setting out in the loop formation after a two-times eye.

[Drawing 32] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing of the filter which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 33] It is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter of the minimum number of taps which realizes the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 34] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing of the filter of the minimum number of taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 35] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing of the filter of the minimum number of taps with which are satisfied of the magnitude of attenuation of an inhibition zone.

[Drawing 36] It is drawing showing the flow chart of the algorithm which asks for the filter of the minimum number of taps which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone and passes the frequency point of a transient region.

[Drawing 37] It is drawing showing the frequency response and enlarged drawing of the filter of the number of the minimum taps which satisfies the magnitude of attenuation of an inhibition zone, and passes the frequency point of a transition region.

[Description of Notations]

1 -- At least a straight line is a phase FIR filter and 2-1 to 2-n-1. -- [ -- An adder, h (0) - h (n-1) / -- A filter factor, TIN / -- An input terminal and TOUT / -- output terminal. ] A delay machine, 3-1 - 3-n -- A multiplier, 4

---

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-9592

(P2002-9592A)

(43) 公開日 平成14年1月11日 (2002.1.11)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 3 H 17/06

識別記号

6 3 3

F I

H 0 3 H 17/06

テーマコード(参考)

6 3 3 C

6 3 3 Z

審査請求 未請求 請求項の数48 O L (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願2000-189743(P2000-189743)

(22) 出願日 平成12年6月20日(2000.6.20)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 茂木 幸彦

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(72) 発明者 西堀 一彦

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74) 代理人 100094053

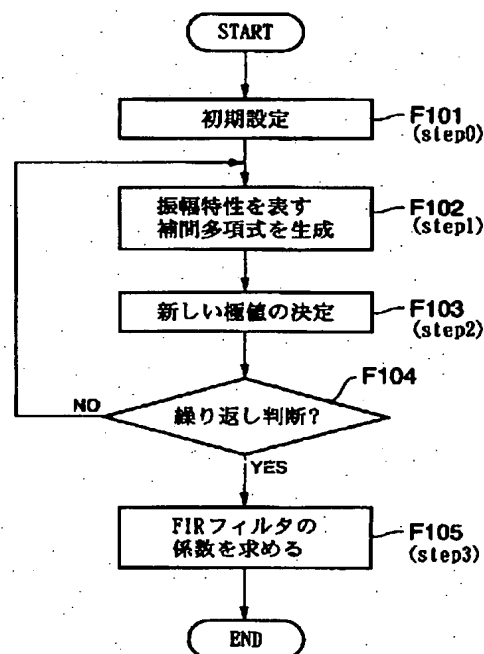
弁理士 佐藤 隆久

(54) 【発明の名称】 F I Rフィルタおよびその係数の設定方法

(57) 【要約】

【課題】 通過させたい周波数点を指定することが可能な F I Rフィルタおよびその係数の設定方法を提供する。

【解決手段】 F I Rフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、F I Rフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい周波数点の入力、初期極値点の設定を行う初期設定ステップ (F 1 0 1) と、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップ (F 1 0 2) と、第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップ (F 1 0 3) と、第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、極値の位置が所望の範囲内に近似されたか否かを判断する第3ステップ (F 1 0 4) と、第3ステップで近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第4ステップ (F 1 0 5) とを有する。





**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっているFIRフィルタであって、

上記フィルタ係数が、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されているFIRフィルタ。

【請求項2】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっているFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項3】 上記重み付け近似は、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項2記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項4】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっているFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、上記第3ステップで近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第4ステップとを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項5】 上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定を行う初期設定ステップを有する請求項4記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項6】 上記第2ステップおよび第3ステップでは、補間に用いた極値点から計算される重みつき近似誤差の極値を近似帯域全体にわたり探し求め、求めた極値を新しい極値点とし、極値の位置が変化しなくなったときに最適近似が得られたと判断する請求項4記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項7】 上記第4ステップでは、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する請求項4記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項8】 上記重み付け近似は、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを

用いて、所望の特性に対して行う請求項7記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項9】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数を可変とし、バンドを固定した場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されているFIRフィルタ。

【請求項10】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、

上記タップ数を可変とし、バンドを固定した場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項11】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項10記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項12】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が変更可能で、バンドが固定されているFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、

上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、

上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、

上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にタップ数を変更する第6ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した上記第3ステップにより近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第7ステップとを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項13】 上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させた

い任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する請求項12記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項14】 上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べ、

上記第6ステップではタップ数を増やす請求項12記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項15】 上記第7ステップでは、上記タップ数を可変とし、バンドを固定した場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する請求項12記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項16】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項15記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項17】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されているFIRフィルタ。

【請求項18】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、

上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項19】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項18記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項20】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が固定で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、

上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、

上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、

上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した上記第3ステップにより近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第7ステップとを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項21】 上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する請求項20記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項22】 上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べる請求項20記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項23】 上記第7ステップでは、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する請求項20記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項24】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項23記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項25】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されているFIRフィルタ。

【請求項26】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過す

るような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項27】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項26記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項28】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が可変で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、

上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、

上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、

調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、

上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、

上記第6ステップでバンド変更後、現在のタップ数で阻止域の減衰量を満足できるか否かを判断する第7ステップと、

上記第7ステップで満足していないと判断した場合に、タップ数を変更する第8ステップと、

上記第5ステップで所定の条件を満足した上記第3ステップにより近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第9ステップとを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項29】 上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する請求項28記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項30】 上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べ、

上記第8ステップではタップ数を増やす請求項28記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項31】 上記第9ステップでは、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行う

ことにより、上記フィルタ係数を算出する請求項28記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項32】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項31記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項33】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されているFIRフィルタ。

【請求項34】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、

上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項35】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項34記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項36】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が固定で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、

上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、

上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、

上記第4ステップで調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、

上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した遷移域の指定周波数の減衰量を調べる第7ステップと、上記第7ステップで調べた遷移域の指定周波数の減衰量と指定した遷移域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第8ステップと、上記第7ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第9ステップと、上記第7ステップで所定の条件を満足した近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第10ステップとを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項37】 上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、遷移域の指定周波数での減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する請求項36記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項38】 上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べる請求項36記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項39】 上記第10ステップでは、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する請求項36記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項40】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項39記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項41】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されているFIRフィルタ。

【請求項42】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合

に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項43】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項42記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項44】 インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が可変で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、

上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、

上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、上記第4ステップで調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、

上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第6ステップでバンド変更後、現在のタップ数で阻止域の減衰量を満足できるか否かを判断する第7ステップと、

上記第7ステップで満足できないと判断した場合にタップ数を変更する第8ステップと、

上記第5ステップで所定の条件を満足した遷移域の指定周波数の減衰量を調べる第9ステップと、

上記第9ステップで調べた遷移域の指定周波数の減衰量と指定した遷移域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第10ステップと、

上記第10ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第11ステップと、

上記第11ステップでバンド変更後、現在のタップ数で遷移域の指定周波数を通過させることができるか否かを判断する第12ステップと、

上記第12ステップで通過させることができないと判断した場合にタップ数を変更する第13ステップと、

上記第10ステップで所定の条件を満足した近似された

振幅特性から上記フィルタ係数を求める第14ステップとを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項45】 上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、遷移域の指定周波数での減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する請求項44記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項46】 上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べ、

上記第8ステップおよび第13ステップではタップ数を増やす請求項44記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項47】 上記第14ステップでは、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する請求項44記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【請求項48】 上記重み付け近似は、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う請求項47記載のFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ディジタル信号処理に必要なFIRフィルタおよびその係数の設定方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 画像や音声のディジタル信号処理では、フィルタ処理がよく使われる。そのフィルタ処理に使われるフィルタは、有限のタップ数で直線位相を持つという特徴から直線位相FIR (Finite Impulse Response; 有限インパルス応答) フィルタがよく利用される。

【0003】 図1は、直線位相FIRフィルタのトランスバーサル型回路構成を示す図である。この直線位相FIRフィルタ1は、図1に示すように、入力端子TINに対して縦続接続されシフトレジスタを構成する( $n-1$ )個の遅延器2-1~2- $n-1$ と、入力端子TINに入力された信号および各遅延器2-1~2- $n-1$ の出力信号に対してそれぞれフィルタ係数 $h(0) \sim h(n-1)$ を乗算する $n$ 個の乗算器3-1~3- $n$ と、 $n$ 個の乗算器3-1~3- $n$ の出力信号を加算し出力端子TOUTに出力する加算器4により構成される。

【0004】 このような直線位相FIRフィルタの代表的な設計法としては、たとえばParks, T.W. and McClellan, J.H. らが直線位相FIRフィルタに適用したレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムが知られている

(Parks, T.W. and McClellan, J.H.: "Chebyshev Approximation for Nonrecursive Digital Filters with Linear Phase", IEEE Trans. Circuit Theory, CT-19, 2, pp. 189-194, 1972、およびRabiner, L.R., McClellan, J.H. and Parks, T.W.: "FIR Digital Filter Design Techniques Using Weighted Chebyshev Approximation", Proc. IEEE, Vol63, April, pp. 595-610, 1975 参照)。

【0005】 レムズ交換アルゴリズムは、所望の振幅特性に対して重みつき近似誤差が等リプルな形になるように近似するアルゴリズムである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、直線位相FIRフィルタの設計仕様で、周波数 $w=0$ のときの直流利得を1にしなければならない場合がある。

【0007】 しかしながら、レムズ交換アルゴリズムには、次のような課題がある。すなわち、図2に示すように、レムズ交換アルゴリズムでは、指定した任意の周波数点を通過するような振幅特性を得ることができない。

【0008】 本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、任意の周波数点を通過する周波数応答を持つことが可能なFIRフィルタおよびその係数の設定方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっているFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されている。

【0010】 また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっているFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0011】 また、本発明では、上記重み付け近似は、任意の周波数点を通過するレムズ交換 (Remez Exchange) アルゴリズムを用いて、所望の特性に対して行う。

【0012】 また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっているFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返す。

返し、所定条件により終了する第3ステップと、上記第3ステップで近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第4ステップとを有する。

【0013】本発明では、上記第3のステップの終了条件としては、たとえば極値の位置が所望の範囲内に近似されたか否かを判断する場合、所望の振幅値との近似誤差の最大値が指定した範囲内に収まった場合、あらかじめ設定した反復回数に達した場合を採用することができる。

【0014】また、本発明では、上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定を行う初期設定ステップを有する。

【0015】また、本発明では、上記第2ステップおよび第3ステップでは、補間に用いた極値点から計算される重みつき近似誤差の極値を近似帯域全体にわたり探し求め、求めた極値を新しい極値点とし、極値の位置が変化しなくなったときに最適近似が得られたと判断する。

【0016】また、本発明では、上記第4ステップでは、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0017】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数を可変とし、バンドを固定した場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されている。

【0018】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数を可変とし、バンドを固定した場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0019】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が変更可能で、バンドが固定されているFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、上記第3

ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にタップ数を変更する第6ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した上記第3ステップにより近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第7ステップとを有する。

【0020】また、本発明では、上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定を行う初期設定ステップ。

【0021】また、本発明では、上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べ、上記第6ステップではタップ数を増やす。

【0022】また、本発明では、上記第7ステップでは、上記タップ数を可変とし、バンドを固定した場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0023】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されている。

【0024】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0025】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が固定で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、

所定条件により終了する第3ステップと、上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した上記第3ステップにより近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第7ステップとを有する。

【0026】また、本発明では、上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定を行う初期設定ステップ。

【0027】また、本発明では、上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べる。

【0028】また、本発明では、上記第7ステップでは、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0029】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されている。

【0030】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0031】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が可変で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、

所定条件により終了する第3ステップと、上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第6ステップでバンド変更後、現在のタップ数で阻止域の減衰量を満足できるか否かを判断する第7ステップと、上記第7ステップで満足していないと判断した場合に、タップ数を変更する第8ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した上記第3ステップにより近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第9ステップとを有する。

【0032】また、本発明では、上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定を行う初期設定ステップ。

【0033】また、本発明では、上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べ、上記第8ステップではタップ数を増やす。

【0034】また、本発明では、上記第9ステップでは、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足する任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0035】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されている。

【0036】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0037】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な

FIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、上記第4ステップで調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した遷移域の指定周波数の減衰量を調べる第7ステップと、上記第7ステップで調べた遷移域の指定周波数の減衰量と指定した遷移域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第8ステップと、上記第7ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第9ステップと、上記第7ステップで所定の条件を満足した近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第10ステップとを有する。

【0038】また、本発明では、上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、遷移域の指定周波数での減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する。

【0039】また、本発明では、上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べる。

【0040】また、本発明では、上記第10ステップでは、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0041】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタであって、上記フィルタ係数が、上記タップ数が可変で、バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより設定されている。

【0042】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、任意のタップを有するFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、上記タップ数が可変で、

バンド設定は変更可能な場合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0043】また、本発明は、インパルス応答が有限時間長で表され、当該インパルス応答がフィルタ係数となっており、タップ数が可変で、バンド設定は変更可能なFIRフィルタのフィルタ係数の設定方法であって、周波数の振幅特性の極値点通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する第1ステップと、上記第1ステップで得られた補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する第2ステップと、上記第1ステップおよび第2ステップを繰り返し、所定条件により終了する第3ステップと、上記第3ステップで近似された振幅特性から阻止域の減衰量を調べる第4ステップと、上記第4ステップで調べた減衰量と指定した阻止域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第5ステップと、上記第5ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第6ステップと、上記第6ステップでバンド変更後、現在のタップ数で阻止域の減衰量を満足できるか否かを判断する第7ステップと、上記第7ステップで満足できないと判断した場合にタップ数を変更する第8ステップと、上記第5ステップで所定の条件を満足した遷移域の指定周波数の減衰量を調べる第9ステップと、上記第9ステップで調べた遷移域の指定周波数の減衰量と指定した遷移域の減衰量を比較し、比較結果が所定の条件を満足しているか否かを判断する第10ステップと、上記第10ステップの比較結果が所定の条件を満足していない場合にバンドの設定を変更する第11ステップと、上記第11ステップでバンド変更後、現在のタップ数で遷移域の指定周波数を通過させることができるか否かを判断する第12ステップと、上記第12ステップで通過させることができないと判断した場合にタップ数を変更する第13ステップと、上記第10ステップで所定の条件を満足した近似された振幅特性から上記フィルタ係数を求める第14ステップとを有する。

【0044】また、本発明では、上記第1ステップを行う前に、少なくともFIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点の入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、遷移域の指定周波数での減衰量の指定を行う初期設定ステップを有する。

【0045】また、本発明では、上記第4ステップでは、阻止域における最小の減衰量を調べ、上記第8ステップおよび第13ステップではタップ数を増やす。

【0046】また、本発明では、上記第14ステップでは、上記タップ数が固定で、バンド設定は変更可能な場



合に、阻止域の減衰量を満足し、かつ遷移域の指定周波数の減衰量を通過する、任意の周波数点を通過するような制約条件を加えたアルゴリズムを用いて、阻止域の減衰量を満足するように、所望の特性に対して重みつき近似を行うことにより、上記フィルタ係数を算出する。

【0047】本発明によれば、たとえば初期設定により、通過させたい任意の周波数点が入力され、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、プリフィルタの係数の設定、初期極値点の設定が行われる。次に、現在の極値点と通過させたい任意の周波数点から振幅特性を補間する補間多項式が生成される。次に、生成した補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点が決定される。これらが繰り返されて、たとえば極値の位置が所望の範囲内に近似されたか否かが判断される。そして、近似された振幅特性からフィルタ係数が求められる。

【0048】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面に関連付けて説明する。

【0049】本発明に係る直線位相FIRフィルタは、等価的にはたとえば図1に示すようなトランスバーサル型回路構成をとることが可能である。ただし、フィルタ

$$\sum_{n=0}^{(L-1)/2} a(n) \cos(n\omega) \quad (1-1)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{L/2} b(n) \cos\left\{\left(n-\frac{1}{2}\right)\omega\right\} \\ & = \cos\left(\frac{\omega}{2}\right) \sum_{n=0}^{L/2-1} \tilde{b}(n) \cos(n\omega) \end{aligned} \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{(L-1)/2} c(n) \sin(n\omega) \\ & = \sin(\omega) \sum_{n=0}^{(L-3)/2} \tilde{c}(n) \cos(n\omega) \end{aligned} \quad (1-3)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{L/2} d(n) \sin\left\{\left(n-\frac{1}{2}\right)\omega\right\} \\ & = \sin\left(\frac{\omega}{2}\right) \sum_{n=0}^{L/2-1} \tilde{d}(n) \cos(n\omega) \end{aligned} \quad (1-4)$$

【0054】すなわち、振幅特性関数 $H(e^{j\omega})$ は、図4に示した固定パラメータの関数 $Q(e^{j\omega})$ と設計パラメータを含む余弦級数 $P(e^{j\omega})$ との積で表される。以後、各式(1-1)～(式1-4)の和の上限を $R-1+2 \times N_p$ と表すことにする。すなわち、 $R$ は図4のように計算される。また、 $a(n)$ ;  $\tilde{b}(n)$ ;  $\tilde{c}(n)$ ;  $\tilde{d}$

係数 $h$ は、以下に詳述するように、チェビシェフ近似問題(Chebyshev approximation problem)を解くレムズ交換(Remez Exchange)アルゴリズムを拡張し、任意の周波数点を通過するように所望の振幅特性をチェビシェフ近似し、近似された振幅特性から求められる。

【0050】以下、本発明に係る直線位相FIRフィルタの係数設定の具体的な方法について、図面に関連付けて順を追って説明する。以下の説明において、周波数領域で通過させたい任意の周波数点の個数を $N_p$ と表す。

【0051】直線位相FIRフィルタの伝達関数 $K$

( $z$ )は、図3に示すように、直線位相を持つために4つの場合に分類される。具体的には、図3(A)に示す奇数タップ、偶対称の場合1、図3(B)に示す偶数タップ、偶対称の場合2、図3(C)に示す奇数タップ、奇対称の場合3、および図3(D)に示す偶数タップ、奇対称の場合4の4つ場合に分類される。

【0052】そして、その振幅特性関数 $H(e^{j\omega})$ を場合1はそのままにして、場合2～4を次のように書き直す。

【0053】

【数1】

( $n$ )を $p(n)$ と総称する。

【0055】所望の振幅特性 $D(e^{j\omega})$ とし、各周波数に対する重みを $W(e^{j\omega})$ とすると、重みつき近似誤差は次のように定義される。

【0056】

【数2】

$$E(e^{j\omega}) = W(e^{j\omega}) \{D(e^{j\omega}) - H(e^{j\omega})\} \quad (2)$$

【0057】

$$H(e^{j\omega}) = Q(e^{j\omega}) \cdot P(e^{j\omega}) \quad \text{【数3】} \quad (3)$$

【0058】式(2)に式(3)を代入すると次のようになる。

$$E(e^{j\omega}) = \hat{W}(e^{j\omega}) \{ \hat{D}(e^{j\omega}) - P(e^{j\omega}) \} \quad \text{【数4】} \quad (4)$$

【0060】ただし、 $\hat{W}(e^{j\omega})$ 、 $\hat{D}(e^{j\omega})$ は下記のようであるとする。

$$\hat{W}(e^{j\omega}) = W(e^{j\omega}) \cdot Q(e^{j\omega}) \quad \text{【数5】} \quad (5)$$

【0062】

$$\hat{D}(e^{j\omega}) = \frac{D(e^{j\omega})}{Q(e^{j\omega})} \quad \text{【数6】} \quad (6)$$

【0063】式(4)は、場合1～場合4の4つの場合の直線位相FIRフィルタの重みつき近似誤差を表している。重みつきチェビシェフ近似問題は、式(2)において指定周波数帯域内での $|E(e^{j\omega})|$ の最大値を最小にするような式(1-1)～(1-4)の $a(n)$ 、 $b(n)$ 、 $c(n)$ 、 $d(n)$ を決定することである。

$$D(e^{j\omega}) = 1 \quad (\text{誤差} \pm \delta_1 \text{ 以内}, 0 < \omega < \omega_p)$$

$$D(e^{j\omega}) = 0 \quad (\text{誤差} \pm \delta_2 \text{ 以内}, \omega_s < \omega < \pi)$$

【0066】ただし、 $R$ が与えられると、 $\delta_1$ 、 $\delta_2$ の値は任意に指定できないが、その比率を指定することができる。 $W(e^{j\omega})$ は通過域では一定値 $W_1$ 、阻止域では $W_2$ とし、 $W_1 \delta_1 = W_2 \delta_2$ が成立するように選ぶ。たとえば、 $W_1 = 1$ 、 $W_2 = \delta_1 / \delta_2$ と選ぶ。このとき、次の交番定理が成り立つ。

【0067】定理

$(R-1)$  次の余弦級数 $P(e^{j\omega})$ が $\omega$ の区間 $(0, \pi)$ で目的特性に対する最良重みつきチェビシェフ近似

$$E(e^{j\omega_i}) \cdot E(e^{j\omega_{i+1}}) < 0 \quad (i=0, 1, \dots, R-1)$$

$$|E(e^{j\omega_i})| = |E(e^{j\omega_{i+1}})| \quad (i=0, 1, \dots, R-1) \quad \text{【数7】} \quad (7)$$

【0069】したがって、 $|E(e^{j\omega_i})|$ は区間内での $|E(e^{j\omega})|$ の最大値に等しい。

【0070】最良なチェビシェフ近似を得る手法に交番定理に基づいたレムズ交換アルゴリズム(Remez Exchange Algorithm)がある(Rabiner, L.R., McClellan, J.H. and Parks, T.W.: "FIR Digital Filter Design Techniques Using Weighted Chebyshev Approximation", Proc. IEEE, Vol 63, April, pp. 595-610, 1975 参照)。任意の周波数点を通過するようにレムズ交換アルゴリズムは、周波数領域で所望の振幅特性をチェビシェフ近似し、近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求めるものである。

【0071】図6は、本発明に係る任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムのフローチャートであ

【0064】以下、具体例に関連付けて説明する。ここでは、下記式および図5に示すように、振幅特性 $D(e^{j\omega})$ を定義する。

【0065】

【数7】

であるための必要十分条件は、

(1)  $E(e^{j\omega})$ は区間 $(0, \pi)$ で少なくとも $(R+1)$ 回、極値をとる周波数を $\omega_0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_{R-1} < \omega_R$ とする。

(2) 隣り合う極値の符号は異なり、かつすべての極値の絶対値は等しいこと。すなわち、次の条件を満足する。

【0068】

【数8】

る。具体的な任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムは以下のようなになる。

【0072】step 0

図6に示すように、まず、初期設定を行う(F101)。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意周波数点を入力、初期極値点の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・タップ数、
- ・直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・バンドの数、
- ・各バンドの両端の周波数、
- ・各バンドの所望の振幅値、
- ・各バンドに対する重みづけ、

- ・通過させたい点の周波数と振幅値 ( $w_{R+1}$ ,  $D(e^{jw_{R+1}})$ ,  $i=1, \dots, N_p$ )
- ・近似帯域で極値となる周波数  $w(0) = w_k(0)$  ( $k=0, \dots, R$ )

ただし、右肩文字(i) は繰り返しの回数を表している。

#### 【0073】 step 1

次に、現在の極値点から振幅特性を補間するラグランジュ補間多項式を生成する (F102)。上記式 (2) で

$$P(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{R-1} p(n) \cos(n\omega) \quad (9)$$

【0075】すなわち、周波数点  $w(i) = w_k(i)$  ( $k=0, \dots, R$ ) における式 (4) の重みつき近似誤差が次式を満足する。

$$\hat{W}(e^{j\omega_k^0}) \{ \hat{D}(e^{j\omega_k^0}) - P(e^{j\omega_k^0}) \} = (-1)^k \delta^0 \quad (k=0, 1, \dots, R) \quad (10)$$

【0077】以下、簡略化のために右肩文字(i) は省略する。式 (10) を変形すると次のようになる。

$$P(e^{j\omega_k}) + \frac{(-1)^k \delta}{\hat{W}(e^{j\omega_k})} = \hat{D}(e^{j\omega_k})$$

$$\sum_{n=0}^{R-1} p(n) \cos(n\omega_k) + \frac{(-1)^k \delta}{\hat{W}(e^{j\omega_k})} = \hat{D}(e^{j\omega_k}) \quad (k=0, 1, \dots, R) \quad (11)$$

【0079】式 (11) に制約として周波数領域で通過させたい周波数点の等式が加わる。

$$P(e^{j\omega_k}) = \hat{D}(e^{j\omega_k})$$

$$\sum_{n=0}^{R-1} p(n) \cos(n\omega_k) = \hat{D}(e^{j\omega_k}), \quad (k = R+1, \dots, R+N_0) \quad (12)$$

【0081】式 (11) と式 (12) を行列表現すると、次のようになる。

示すチェビシェフ近似の目的関数が最小になる必要十分条件は交番定理により示されている。そこで、交番定理をもとにして、各極値点で所望の振幅特性からの重みつき近似誤差  $\delta(i)$  が等しく、符号が交番するように、次のパラメータ  $p(n)$  を求める。

【0074】

【数9】

【0076】

【数10】

【0078】

【数11】

【0080】

【数12】

【0082】

【数13】

$$\begin{bmatrix}
 1 & \cos(\omega_0) & \cos(2\omega_0) & \cdots & \cos((R-1)\omega_0) & \frac{1}{\hat{W}(e^{j\omega_0})} \\
 1 & \cos(\omega_1) & \cos(2\omega_1) & \cdots & \cos((R-1)\omega_1) & \frac{-1}{\hat{W}(e^{j\omega_1})} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 1 & \cos(\omega_{R-1}) & \cos(2\omega_{R-1}) & \cdots & \cos((R-1)\omega_{R-1}) & \frac{(-1)^{R-1}}{\hat{W}(e^{j\omega_{R-1}})} \\
 1 & \cos(\omega_R) & \cos(2\omega_R) & \cdots & \cos((R-1)\omega_R) & \frac{(-1)^R}{\hat{W}(e^{j\omega_R})} \\
 1 & \cos(\omega_{R+1}) & \cos(2\omega_{R+1}) & \cdots & \cos((R-1)\omega_{R+1}) & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 1 & \cos(\omega_{R+N_D}) & \cos(2\omega_{R+N_D}) & \cdots & \cos((R-1)\omega_{R+N_D}) & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 p(0) \\
 p(1) \\
 \vdots \\
 p(R-1) \\
 \delta
 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix}
 \hat{D}(e^{j\omega_0}) \\
 \hat{D}(e^{j\omega_1}) \\
 \vdots \\
 \hat{D}(e^{j\omega_{R-1}}) \\
 \hat{D}(e^{j\omega_R}) \\
 \hat{D}(e^{j\omega_{R+1}}) \\
 \vdots \\
 \hat{D}(e^{j\omega_{R+N_D}})
 \end{bmatrix} \quad (13)$$

【0083】しかし、この式を解くのは非常に計算量が多いので、まず $\delta$ を解析的に求める。

【0084】

【数14】

$$\delta = \frac{\sum_{j=0}^R \alpha_j \hat{D}(e^{j\omega_j})}{\sum_{j=0}^R (-1)^j \alpha_j / \hat{W}(e^{j\omega_j})} \quad (14)$$

【0085】

【数15】

$$\alpha_k = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^R \frac{1}{(x_k - x_j)} \quad (15)$$

【0086】

【数16】

$$x_j = \cos(\omega_j) \quad (16)$$

【0087】 $\alpha_k$ は行列Fのk行(R+1)列の要素の余因子である。ただし、 $\hat{W}(e^{j\omega})$ 、 $\hat{D}(e^{j\omega})$ は、それぞれ式(5)、式(6)を使う。次にこの $\delta$ を

用いて次式のようにおく。

【0088】

【数17】

$$C_k = \hat{D}(e^{j\omega_1}) - (-1)^k \frac{\delta}{\hat{W}(e^{j\omega_1})} \quad (17)$$

(k=0,...,R)

【0089】

【数18】

$$C_k = \hat{D}(e^{j\omega_1}), \quad (k=R+1, \dots, R+N_p) \quad (18)$$

【0090】極値点以外の周波数の振幅特性を求めるために、極値点と通過させたい周波数点を用いて補間する補間多項式として、今回はラグランジュ補間多項式を用いることにする。すなわち、 $P(e^{j\omega})$ は、ラグランジュ補間多項式を用いて、 $w_k$  ( $k=0, \dots, R+N$ )

p) で値  $C_k$  をとるような補間をすることで計算される。

【0091】

【数19】

$$P(e^{j\omega}) = \frac{\sum_{k=0}^{R-1} C_k \left( \frac{\beta_k}{x - x_k} \right)}{\sum_{k=0}^{R-1} \left( \frac{\beta_k}{x - x_k} \right)} \quad (19)$$

【0092】

【数20】

$$\beta_k = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^{R-1} \frac{1}{(x_k - x_j)} \quad (20)$$

【0093】

【数21】

$$x = \cos(\omega) \quad (21)$$

【0094】この結果は、式(13)を解いたことに相当する。

【0095】step2

補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を求めることと(F103)、最適近似が得られた否かを繰り返し判断する(F104)。上記したstep1の結果の各極値点 $w_k$ は必ずしも重みつき誤差関数 $E(e^{j\omega})$ の極値になっておらず、 $|E(e^{j\omega})| > \delta(i)$ となる点が存在することがある。そこで新しい極値点 $w$

(i+1) を全点同時入れ替え法から決定する。

全点同時入れ替え法: 次式に基づいて、補間に用いた極値点から計算される重みつき近似誤差の極値を近似帯域全体にわたり探し求め、それを新しい極値点 $w(i+1) = w_k(i+1)$  ( $k=0, 1, \dots, R$ ) とし、step1の処理に戻る。

【0096】

【数22】

$$E(e^{j\omega}) = \hat{W}(e^{j\omega}) \{ \hat{D}(e^{j\omega}) - P(e^{j\omega}) \} \quad (22)$$

【0097】極値の位置が変化しなくなったとき最適近似が得られたとする。これが繰り返しの終了条件であり、次のstep3の処理へ進む。

【0098】図7は、全点入れ替え法の概念図である。簡単に説明すると、図7中の黒丸が補間に用いた極値点を表し、この極値点から求めた重みつき近似誤差 $E(e^{j\omega})$ が実線に相当する。図7(A)に示すように、黒丸の極値点での重みつき近似誤差の値は白丸となるが、実際の極値は四角で示す周波数である。そこで、四角で示す周波数を新しい極値点として、step1の処理に戻る。また、図7(B)に示すように、補間に用いた極値点と実際の極値の周波数がずれているので、四角で示す

周波数を新しい極値点として、step1の処理に戻る。そして、図7(C)に示すように、補間に用いた極値点と、実際の重みつき近似誤差の極値点(白丸)が同じになったときに、繰り返しは終了する。

【0099】step3

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める(F105)。最適近似関数 $P(e^{j\omega})$ からNタップのインパルス応答 $h(n)$ を求める際に、 $p(n)$ から求める代わりに、次式から求める。

【0100】

【数23】

$$H(e^{j\omega}) = P(e^{j\omega}) \cdot Q(e^{j\omega}) \quad (23)$$

【0101】

【数24】

場合1:

$$h(n) = \frac{1}{N} \left\{ H(0) + 2 \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}k\right) \cos\left(\frac{2\pi}{N}k(n+\frac{1}{2})\right) \right\} \quad (24)$$

【0102】

【数25】

場合2:

$$h(n) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})\right) \sin\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})(n+\frac{1}{2})\right) \quad (25)$$

【0103】

【数26】

場合3:

$$h(n) = -\frac{2}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}k\right) \sin\left(\frac{2\pi}{N}k(n+\frac{1}{2})\right) \quad (26)$$

【0104】

【数27】

場合4:

$$h(n) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{2}} (-1)^k H\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})\right) \cos\left(\frac{2\pi}{N}(k+\frac{1}{2})(n+\frac{1}{2})\right) \quad (27)$$

【0105】もし、通過させたい任意の周波数点がない場合、 $N_p=0$ のときは、通常のレムズ交換アルゴリズムと同じである。

【0106】図8は、以下に示す仕様に対して、任意の周波数点を通過するように拡張したレムズ交換アルゴリズムで設定された低域通過フィルタの周波数応答を示す

- ・ バンド

図である。

【0107】仕様

- ・ タップ数；24タップ、
- ・ 対称性；偶対称

【0108】

【表1】

バンド	周波数範囲	利得	重み
1	$0 \leq \omega \leq 0.3\pi$	3	1
2	$0.5\pi \leq \omega \leq \pi$	0	1

【0109】

【表2】

- ・ 指定周波数点

周波数	利得
$\omega = 0$	3
$\omega = 2\pi/3$	0

【0110】図8(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図8(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、図8(C)は利得3付近を拡大した図、図8(D)は利得0付近を拡大した図である。また、図中、実線は最終的に得られた周波数特性を示している。また、点線はバンドの区切りを示し、黒丸は指定した周波数点を示している。

【0111】図8、特に図8(C)、(D)から、本実施形態に係る任意の周波数点を通過するように拡張したレムズ交換アルゴリズムで設定された低域通過フィルタ

は、指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0112】次に、変形例として、指定された阻止域の減衰量を満足するアルゴリズムについて説明する。このアルゴリズムは、任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを用いて、バンド数が2である低域通過フィルタ、または、高域通過フィルタに対して、指定された阻止域の減衰量(重みつき近似誤差)を満足するアルゴリズムである。なお、以下の説明では、低域通過フィルタを想定して記述しているが、高域通過フィルタに適用したいときは、「通過域」と「阻止域」は逆になる。

【0113】阻止域の減衰量を満足するための方法としては、以下に示す3種類のアプローチが存在する。第1は、通過域の終点周波数 $\omega_p$ を可変、阻止域の始点周波数 $\omega_s$ を固定、およびタップ数を固定とするアプローチである。第2は、通過域の終点周波数 $\omega_p$ を固定、阻止域の始点周波数 $\omega_s$ を可変、およびタップ数を固定とする

るアプローチである。第3は、通過域の終点周波数 $w_p$ を固定、阻止域の始点周波数 $w_s$ を固定、タップ数を可変とするアプローチである。

【0114】以下、第1、第2、および第3のアプローチについて、図面に関連付けて順を追って説明する。

#### 【0115】第1のアプローチ

まず、一つ目のアプローチでは、指定した阻止域の減衰量 $d_Bs$ を満足する最も大きい通過域の終点周波数 $w_p$ を求めることになる。図9は、阻止域の減衰量を満足するフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。図10は、阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムで、自由になるパラメータ(変数)と固定されるパラメータ(変数)を示している。

【0116】ここで、このアルゴリズムで自由になるパラメータ、目的、そしてアルゴリズムの原理を列挙すると次のようになる。

- \*自由パラメータ: 通過域の終点周波数 $w_p$ である。
- \*目的: 指定した阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数 $w_p$ を持つフィルタを得る。
- \*原理: 通過域の始点周波数と阻止域の両端の周波数が固定であり、通過域の終点周波数が自由パラメータである。レムズ交換アルゴリズムによるチェビシェフ近似では、

- ・通過域の終点周波数 $w_p$ が阻止域の始点周波数 $w_s$ よりも遠ざかる→阻止域の減衰量は大きくなる。
- ・通過域の終点周波数 $w_p$ が阻止域の始点周波数 $w_s$ に近づく→阻止域の減衰量は小さくなる。

すなわち、阻止域の始点周波数 $w_s$ から遠い周波数( $w=0$ 付近)に $w_p^{(cur)}$ と阻止域の始点周波数に近い周波数 $w_p^{(pre)}$ を初期周波数として用意し、二分割法を利用して指定した減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数の位置 $w_p$ を求める。なお、このようなパラメータの直線探索法で最も効率の良い方法は黄金分割法であるが、ここでは、アルゴリズムの理解が容易な二分

$$\omega_p^{(pre)}[0] = \text{阻止域の始点周波数の近傍}$$

$$\omega_p^{(cur)}[0] = \text{通過域の始点周波数の近傍} \quad (28)$$

【0121】 $w_p$ の後ろにある[t]の部分はサイクル数を表すものとする。ここでは、周波数 $w_p^{(pre)}[0]$ に対しては任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行して阻止域における最小の減衰量 $d_B^{(pre)}[0]$ が求められているとして以下のステップについて説明する。

#### 【0122】step11

任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行する(F102, F103, F104)。具体的には、処理F102では、 $w_p^{(cur)}[t]$ のときの極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多

割法を採用している。

【0117】図9および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102, F103, F104, F105の内容は、図6に関連付けて説明した任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムと同じである。したがって、これらの処理については、図6と同じ符号を用いている。

#### 【0118】step10

図9に示すように、まず、初期設定を行う(F201)。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点を入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、二分割法の初期周波数の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・タップ数、
- ・直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・バンドの数は2個、
- ・通過域の始点周波数、
- ・通過域の利得、
- ・阻止域の両端の周波数、
- ・阻止域の利得、
- ・通過域と阻止域に対する重みづけ、
- ・通過させたい点の周波数と振幅値、
- ・阻止域の減衰量 $d_Bs$ (すなわち、阻止域のリップルの大きさ $\delta_2$ を指す)、
- ・近似帯域で極値となる周波数 $w(0) = w_k(0)$  ( $k=0, \dots, R$ )

ただし、右肩文字(i)は繰り返しの回数を表している。

【0119】また、図11は、阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分割法の初期周波数を示す図である。図11に示すように、本例では、二分割法の初期周波数として下記のような値を与えている。

#### 【0120】

#### 【数28】

項式を生成を生成する。次いで、処理F103において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理F104において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。

#### 【0123】step12

次に、阻止域の減衰量を調べる(F206)。処理F102で求めた補間多項式を用いて、阻止域における最小の減衰量(最大の重みつき近似誤差 $\delta_2$ ) $d_Bs^{(cur)}[t]$ を調べる。

#### 【0124】step13

次に、指定した阻止域の減衰量との比較を行う(F20

7)。具体的には、指定した阻止域の減衰量  $dB_s$  と比較して、下記式 (29) または式 (30) を満足している場合には、step 15 (F105) の処理に移行する。満足していない場合には step 14 (F208)

$$|dB_s^{(cur)}[t] - dB_s| < \varepsilon_1$$

【0126】

$$|\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]| < \varepsilon_2$$

【0127】ただし、 $\varepsilon_1$  と  $\varepsilon_2$  は非常に小さい値をしている。

【0128】step 14

指定した阻止域の減衰量  $dB_s$  との比較において、上記式 (29) または式 (30) を満足していない場合には、バンドの設定を変更する (F208)。具体的には、新しい通過域の終点周波数  $\omega_p^{(cur)}[t+1]$  を設定する。その設定法として一回目のループの場合と二回目以降のループの場合に分けて説明する。

【0129】一回目:一回目の場合には、図12に示す3つのケースが考えられる。すなわち、周波数  $\omega_p^{(pre)}[0]$ 、 $\omega_p^{(cur)}[0]$  に対して、図12(A)、(B)、(C)に示すケースが考えられる。図12(A)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[1] &= \omega_p^{(cur)}[0] \\ \omega_p^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[0] + \omega_p^{(pre)}[0]) \\ dB^{(pre)}[1] &= dB^{(cur)}[0]\end{aligned}\quad (31)$$

【0131】二回目以降:二回目以降の場合には、図13に示す2つのケースが考えられる。二回目以降における新しい周波数の決め方において、 $\omega_p^{(pre)}[t+1]$  には必ず指定した減衰量  $dB_s$  を満足する周波数を保存する。周波数  $\omega_p^{(pre)}[t]$ 、 $\omega_p^{(cur)}[t]$  に対して、図13(A)、(B)に示すケースが考えられる。図13(A)に示すケースは、片方のみが指定した減衰量を

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(pre)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] + \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB^{(pre)}[t+1] &= dB^{(pre)}[t]\end{aligned}\quad (32)$$

【0133】図13(B)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しているケースである。この場合は、下記式 (33) のようにして次の step 11 の処

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB^{(pre)}[t+1] &= dB^{(cur)}[t]\end{aligned}\quad (33)$$

【0135】step 15

の処理に移行する。

【0125】

【数29】

(29)

【数30】

(30)

しているケースである。この場合、阻止域の始点周波数  $\omega_s$  に近い周波数  $\omega_p^{(pre)}[0]$  を解として step 15 の処理に進む。図12(B)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しないケースである。この場合、現在のタップ数では、指定した減衰量を実現することができないので、その旨を表示して終了する。図12(C)に示すケースは、片方のみが指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式 (31) のようにして step 11 の処理に移行する。なお、今回の初期周波数点の与え方では、 $\omega_p^{(pre)}[0]$  が満足し、 $\omega_p^{(cur)}[0]$  が満足しないケースは存在しない。

【0130】

【数31】

満足するケースである。この場合は、下記式 (32) のようにして次の step 11 の処理に移行する。なお、常に  $\omega_p^{(pre)}[t]$  は指定した減衰量を満足した周波数がかかるので、 $\omega_p^{(pre)}[t]$  が満足しないケースは存在しない。

【0132】

【数32】

理に移行する。

【0134】

【数33】

近似された振幅特性から直線位相 FIR フィルタの係数



を求める(F105)。すなわち、最終的に得られた振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める。

【0136】図14は、「阻止域の減衰量を満足する最大の通過域の終点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図14(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図14(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、図14(C)は利得3付近を拡大した図、および図14(D)は利得0付近を拡大した図である。

・ バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq \omega \leq \omega_p$	3	1
阻止域	$0.5\pi \leq \omega \leq \pi$	0	1

【0140】

【表4】

・ 指定周波数点

周波数	利得
$\omega = 0$	3
$\omega = 2\pi/3$	0

【0141】なお、図14中において、実線は阻止域の減衰量を満足する最大の通過域の終点周波数をもつ低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、点線はあらかじめ与えたバンドの区切りを示し、黒丸は指定した周波数点を示している。

【0142】図14(A)から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図14

(C), (D)から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0143】すなわち、図14からわかるように、本発明に係る「阻止域の減衰量を満足する最大の通過域の終点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0144】第2のアプローチ

次に、第2のアプローチでは、指定した阻止域の減衰量dBsを満足する最も小さい阻止域の始点周波数 $\omega_s$ を求めることになる。そのためのフローチャートは、第1のアプローチで参照した図9と等価なものとなる。図15は、阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムで、自由になるパラメータ(変数)と固定されるパラメータ(変数)を示している。

【0145】ここで、このアルゴリズムで自由になるパラメータ、目的、そしてアルゴリズムの原理を列挙すると次のようになる。

- \* 自由パラメータ: 阻止域の始点周波数 $\omega_s$ である。
- \* 目的: 指定した阻止域の減衰量を満足する最も小さい

【0137】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0138】基本アルゴリズム: 任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムである。

- ・ 24タップ
- ・ 偶対称
- ・ 阻止域の減衰量は-40dB以下

求めたい変数: 通過域の終点周波数 $\omega_p$ である。

【0139】

【表3】

阻止域の始点周波数 $\omega_s$ を持つフィルタを得る。

\* 原理: 通過域の両端の周波数と阻止域の終点周波数が固定であり、阻止域の始点周波数が自由パラメータである。レムズ交換アルゴリズムによるチェビシェフ近似では、

- ・ この阻止域の始点周波数 $\omega_s$ が通過域の終点周波数 $\omega_p$ よりも遠ざかる

→阻止域の減衰量は大きくなる。

- ・ この阻止域の始点周波数 $\omega_s$ が通過域の終点周波数 $\omega_p$ に近づく→阻止域の減衰量は小さくなる。

すなわち、通過域の終点周波数から遠い周波数 $\omega_s$ (pre)と通過域の終点周波数に近い周波数 $\omega_s$ (cur)を初期周波数として用意し、二分法を利用して指定した減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数の位置 $\omega_s$ を求める。なお、この場合も、このようなパラメータの直線探索法で最も効率が良い方法は黄金分割法であるが、ここでは、アルゴリズムの理解が容易な二分法を採用している。

【0146】また、図9および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102, F103, F104, F105の内容は、第1のアプローチの場合と同様に、図6に関連付けて説明したプリフィルタの周波数応答を考慮したレムズ交換アルゴリズムと同じである。したがって、ここでの処理については、図6と同じ符号を用いている。

【0147】step20

図9に示すように、まず、初期設定を行う(F201)。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点を入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、二分法の初期周波数の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・ タップ数、
- ・ 直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・ バンドの数は2個

- ・通過域の両端の周波数、
- ・通過域の利得、
- ・阻止域の終点周波数、
- ・阻止域の利得、
- ・通過域と阻止域に対する重みづけ、
- ・通過させたい点の周波数と振幅値、
- ・阻止域の減衰量  $dB_s$  (すなわち、阻止域のリップルの大きさ  $\delta 2$  を指す)、
- ・近似帯域で極値となる周波数  $w^{(0)} = w_k^{(0)}$  ( $k =$

$\omega_s^{(pre)}[0] =$  通過域の終点周波数の近傍

$\omega_s^{(cur)}[0] =$  阻止域の終点周波数の近傍

(34)

【0150】  $w_s$  の後ろにある  $[t]$  の部分はサイクル数を表すものとする。ここでは、周波数  $w_s^{(pre)}[0]$  に対しては任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行して阻止域における最小の減衰量  $dB^{(pre)}[0]$  が求められているとして以下のステップについて説明する。

#### 【0151】 step 21

任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行する (F102, F103, F104)。具体的には、処理F102では、 $w_s^{(cur)}[t]$  のときの極値点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する。次いで、処理F103において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理F104において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。

$$|dB_s^{(cur)}[t] - dB_s| < \epsilon_1$$

(35)

【0155】

$$|\omega_s^{(cur)}[t] - \omega_s^{(pre)}[t]| < \epsilon_2$$

【0156】 ただし、 $\epsilon_1$  と  $\epsilon_2$  は非常に小さい値とする。

#### 【0157】 step 24

指定した阻止域の減衰量との比較において、上記式 (35) または式 (36) を満足していない場合には、バンドの設定を変更する (F208)。具体的には、新しい阻止域の始点周波数  $w_s^{(cur)}[t+1]$  を設定する。その設定法として一回目のループの場合と二回目以降のループの場合に分けて説明する。

【0158】 一回目: 一回目の場合には、図17に示す3つのケースが考えられる。すなわち、周波数  $w_s^{(pre)}[0]$ 、 $w_s^{(cur)}[0]$  に対して、図17 (A)、(B)、(C) に示すケースが考えられる。図17 (A) に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足

0, ..., R)

ただし、右肩文字 (i) は繰り返しの回数を表している。

【0148】 また、図16は、阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域を持つフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分法の初期周波数を示す図である。図16に示すように、本例では、二分法の初期周波数として下記のような値を与えている。

【0149】

【数34】

#### 【0152】 step 22

次に、阻止域の減衰量を調べる (F206)。処理F102で求めた補間多項式を用いて、阻止域における最小の減衰量 (最大の重みつき近似誤差  $\delta 2$ )  $dB_s^{(cur)}[t]$  を調べる。

#### 【0153】 step 23

次に、指定した阻止域の減衰量との比較を行う (F207)。具体的には、指定した阻止域の減衰量  $dB_s$  と比較して、下記式 (35) または式 (36) を満足している場合には、step 25 (F105) の処理に移行する。満足していない場合には step 24 (F208) の処理に移行する。

【0154】

【数35】

【数36】

(36)

しているケースである。この場合、 $w=0$  に近い周波数  $w_s^{(pre)}[0]$  を解とし step 25 の処理に進む。図17 (B) に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しないケースである。この場合、現在のタップ数では、指定した減衰量を実現することができないので、その旨を表示して終了。図17 (C) に示すケースは、片方のみが指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式 (37) のようにして step 21 の処理に移行する。なお、今回の初期周波数点の与え方は、 $w_s^{(pre)}[0]$  が満足し、 $w_s^{(cur)}[0]$  が満足しないケースは存在しない。

【0159】

【数37】

$$\begin{aligned}
 \omega_s^{(pre)}[1] &= \omega_s^{(cur)}[0] \\
 \omega_s^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[0] + \omega_s^{(pre)}[0]) \\
 dB_s^{(pre)}[1] &= dB_s^{(cur)}[0]
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

【0160】二回目以降:二回目以降の場合には、図18に示す2つのケースが考えられる。二回目以降における新しい周波数の決め方において、 $w_s^{(pre)}[t+1]$ には必ず指定した減衰量 $dB_s$ を満足する周波数を保存することにする。周波数 $w_s^{(pre)}[t]$ 、 $w_s^{(cur)}[t]$ に対して、図18(A)、(B)に示すケースが考えられる。図18(A)に示すケースは、片方

$$\begin{aligned}
 \omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(pre)}[t] \\
 \omega_s^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] + \omega_s^{(pre)}[t]) \\
 dB_s^{(pre)}[t+1] &= dB_s^{(pre)}[t]
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

【0162】図18(B)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しているケースである。この場合は、下記式(39)のようにして次のstep21の処

$$\begin{aligned}
 \omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] \\
 \omega_s^{(cur)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] - \omega_s^{(pre)}[t]) \\
 dB_s^{(pre)}[t+1] &= dB_s^{(cur)}[t]
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

#### 【0164】step25

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める(F105)。すなわち、最終的に得られた振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める。

【0165】図19は、「阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図19(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図19(B)はそのまの値で表示した周波数応答を示す図、図19(C)は利得3付近を拡大した図、および図19(D)は利得0付近を拡大した図である。

・ バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq 0.3\pi$	3	1
阻止域	$w_s \leq w \leq \pi$	0	1

【0169】

【表6】

・ 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

【0170】なお、図19中において、実線は阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始点周波数をもつ低域

のみが指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式(38)のようにして次のstep21の処理に移行する。なお、常に $w_s^{(pre)}[t]$ は減衰量を満足した周波数があるので、 $w_s^{(pre)}[t]$ が満足しないケースは存在しない。

【0161】

【数38】

理に移行する。

【0163】

【数39】

大した図である。

【0166】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0167】基本アルゴリズム:任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムである。

- ・ 24タップ
- ・ 偶対称
- ・ 阻止域の減衰量は-40dB以下

求めたい変数:阻止域の始点周波数 $w_s$ である。

【0168】

【表5】

通過フィルタの周波数応答を示している。また、点線はあらかじめ与えたバンドの区切りを示し、黒丸は指定して周波数点を示している。

【0171】図19(A)から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図19

(C)、(D)から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0172】すなわち、図19からわかるように、本発明に係る「阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始

点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

### 【0173】第3のアプローチ

最後に、第3のアプローチでは、指定した阻止域の減衰量  $dB_s$  を満足する最小のタップ数  $N$  を求めることになる。図20は、阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数のフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャート示す図である。

【0174】ここで、このアルゴリズムで、自由になるパラメータ、目的、そしてアルゴリズムの原理を列挙すると次のようになる。

\*自由パラメータ：タップ数である。

\*目的：指定された阻止域の減衰量を満足する最小タップ数のフィルタを得る。

\*原理：バンドの変数はすべて固定であるので、指定した阻止域の減衰量を満足できない場合に、タップ数を1タップ増やす。

【0175】また、図20および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102、F103、F104、F105、の内容は、第1のアプローチの場合と同様に、図6に関連付けて説明した任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムと同じである。また、処理F206の内容は第2のアプローチの場合と同様に、図9に関連付けて説明した処理と同様である。したがって、ここでの処理については、図6および図9と同じ符号を用いている。

### 【0176】step30

図20に示すように、まず、初期設定を行う(F401)。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点を入力、初期極値点の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

・初期タップ数、

$$dB_s^{(cur)}[t] < dB_s$$

### 【0181】step34

1タップ増やす(F413)。すなわち、現在のタップ数を1タップ増やし、step30の処理に移行する。

### 【0182】step35

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める(F105)。すなわち、最終的に得られた振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める。

【0183】図21は、「阻止域の減衰量を実現する最小のタップ数」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図21(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図21(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す

・直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、

・バンドの数は2個、

・各バンドの始点周波数と終点周波数、

・各バンドの利得、

・各バンドの重みづけ、

・通過させたい点の周波数と振幅値、

・阻止域の減衰量  $dB_s$  (すなわち、阻止域のリップルの大きさ  $\delta_2$  を指す)、

・近似帯域で極値となる周波数  $w(0) = w_k(0)$  ( $k = 0, \dots, R$ )

ただし、右肩文字(i)は繰り返しの回数を表している。

### 【0177】step31

任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行する(F102、F103、F104)。具体的には、処理F102では、 $w_p^{(cur)}[t]$ のときの極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する。次いで、処理F103において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理F104において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。

### 【0178】step32

次に、阻止域の減衰量を調べる(F206)。処理F102で求めた補間多項式を用いて、阻止域における最小の減衰量(最大の重みつき近似誤差  $\delta_2$ )  $dB_s^{(cur)}[t]$  を調べる。

### 【0179】step33

次に、指定した阻止域の減衰量との比較を行う(F412)。具体的には、指定した阻止域の減衰量  $dB_s$  と比較して、下記式(40)を満足している場合には、step35(F105)の処理に移行する。満足していない場合にはstep34(F413)の処理に移行する。

【0180】

【数40】

(40)

図、図21(C)は利得3付近を拡大した図、および図21(D)は利得0付近を拡大した図である。

【0184】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0185】基本アルゴリズム:任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムである。

・初期タップ数10タップ

・偶対称

・阻止域の減衰量は-60dB以下

求めたい変数:タップ数  $N$  である。

【0186】

【表7】

• バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq 0.3\pi$	3	1
阻止域	$0.5\pi \leq w \leq \pi$	0	1

【0187】

【表8】

• 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

【0188】なお、図21中において、実線は阻止域の減衰量が $-60\text{ dB}$ 以下になる最小のタップ数（36タップ）の低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、点線はあらかじめ与えたバンドの区切りを示し、黒丸は指定した周波数点を示している。

【0189】図21（A）から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図21（C）、（D）から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0190】すなわち、図21からわかるように、本発明に係る「阻止域の減衰量を実現する最小のタップ数」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0191】次に、第2の変形例として、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムについて説明する。

【0192】ここで、このアルゴリズムで自由になるパラメータ、目的、そしてアルゴリズムの原理を列挙すると次のようになる。

\*自由パラメータ：通過域の終点周波数 $w_p$ と阻止域の始点周波数 $w_s$ である。

\*目的：阻止域の減衰量 $dBs$ を満足し、かつ、遷移域の周波数 $w_c$ で減衰量 $dBc$ を通過するバンドを決定する。すなわち、遷移域の特定周波数 $w_c$ で減衰量 $dBc$ となるような最も大きい通過域の終点周波数 $w_p$ と最も小さい阻止域の始点周波数 $w_s$ を得る。

\*原理：通過域の始点周波数と阻止域の終点周波数が固定であり、通過域の終点周波数 $w_p$ と阻止域の始点周波数 $w_s$ が自由パラメータである。2つの自由パラメータがあるので、同時に動かすと適切に決めることができない。そこで、片方のパラメータを固定し、阻止域の減衰量を満足するもう一方のパラメータを求める。遷移域の周波数 $w_c$ で減衰量 $dBc$ を通過しない場合は、固定していたパラメータを変更する。以上のような反復を繰り返すことで、遷移域の周波数 $w_c$ で減衰量 $dBc$ を通過するバンドを決定する。阻止域の減衰量を満足するパラメータを求める方法は、2種類のアプローチ、すなわち、第1に「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止

域の始点周波数を持つフィルタ」、第2に「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」があるので、それぞれをベースにしたアルゴリズムを順を追って説明する。

【0193】図22は、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。まず、図22～図27に関連付けて、「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」をベースにしたアルゴリズムについて説明する。

【0194】すなわち、本アルゴリズムでは、「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムを利用する。具体的なアルゴリズムの方針は、図23に示すように、上記アルゴリズムを内側のループとして $w_s$ を求め、さらに外側に $w_p$ を求めるためのループをかぶせてバンドのパラメータを決定する。すなわち、外側のループで通過域の終点周波数 $w_p$ を固定し、内側のループで阻止域の減衰量 $dBs$ を満足する阻止域の始点周波数 $w_s$ を求める。求められた振幅特性が指定した遷移域の点（ $w_c$ ,  $dBc$ ）を通過してないときは、「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」を探索したときと同様に $w_p$ を二分法を用いて探索する。以下に具体的なアルゴリズムを示すが、内側のループである「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムは同じなので説明は省略する。

【0195】また、図22および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102, F103, F104, F105, の内容は、第1のアプローチの場合と同様に、図6に関連付けて説明した任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムと同じである。また、処理F206, F207, F208の内容は第2のアプローチの場合と同様に、図9に関連付けて説明した処理、すなわち「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」のアルゴリズムと同様である。したがって、ここでの処理については、図6および図9と同じ符号を用いている。

【0196】step40

まず、図22に示すように、初期設定を行う（F301）。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点を入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、二分法の初期周波数の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・タップ数、
- ・直線位相 FIR フィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・バンドの数は2個、
- ・通過域の始点周波数  $w_s = 0$ 、
- ・通過域の利得、
- ・阻止域の終点周波数  $w_p = \pi$ 、
- ・阻止域の利得、
- ・通過域と阻止域に対する重みづけ、
- ・通過させたい点の周波数と振幅値、
- ・阻止域の減衰量  $d B_s$  (すなわち、阻止域のリップルの大きさ  $\delta 2$  を指す)、

$\omega_p^{(pre)}[0] = \text{通過域の始点周波数の近傍}$

$\omega_p^{(cur)}[0] = \omega_c \text{の近傍}$

(41)

【0199】  $w_p$  の後ろにある  $[t]$  の部分はサイクル数を表すものとする。ここでは、周波数  $w_p^{(pre)}[0]$  に対しては任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行して阻止域における指定した減衰量  $d B_s$  を満足する最小の阻止域の始点周波数  $w_s^{(pre)}[0]$  が求められ、そのときの  $w_c$  における利得  $d B_c^{(pre)}[0]$  が得られているとして以下のステップについて説明する。

#### 【0200】 step 41

「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムを実行する (F102, F103, F104, F206, F207, F208)。具体的には、処理 F102 では、 $w_p^{(cur)}[t]$  のときの極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する。次いで、処理 F103 において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理 F104 において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。次に、処理 F206 において、阻止域における最小の減衰量 (最大の重みつき近似誤差) を求める。次に、処理 F207 において、阻止

$$|d B_c^{(cur)}[t] - d B_c| < \varepsilon_1$$

【0204】

$$|\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]| < \varepsilon_2$$

【0205】 ただし、 $\varepsilon_1$  と  $\varepsilon_2$  は非常に小さい値をしている。

#### 【0206】 step 44

遷移域の周波数  $w_c$  に対する減衰量  $d B_c$  との比較において、上記式 (42) または式 (43) を満足していない場合には、バンドの設定を変更する (F311)。具体的には、新しい通過域の終点周波数  $w_p^{(cur)}[t+1]$  を設定する。その設定法として一回目のループの場合と二回目以降のループの場合に分けて説明する。

【0207】 一回目: 一回目の場合には、図25に示す

- ・遷移域の周波数  $w_c$  とその減衰量  $d B_c$ 、
- ・近似帯域で極値となる周波数  $w_k^{(0)} = w_k^{(0)}$  ( $k = 0, \dots, R$ )

ただし、右肩文字  $(i)$  は繰り返しの回数を表している。

【0197】 また、図24は、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分法の初期周波数を示す図である。図24に示すように、本例では、二分法の初期周波数として下記のような値を与えている。

【0198】

【数41】

域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数  $w_s$  を持つフィルタを求めるアルゴリズムの終了条件を得る。また、処理 F208 において、新しい阻止域の始点周波数  $w_s^{(cur)}$  の設定を行う。

#### 【0201】 step 42

次に、遷移域に指定した周波数の減衰量を調べる (F309)。処理 F102 において、「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数」を求めるアルゴリズムで最終的に求めたラグランジュ補間多項式を用いて、遷移域に指定した周波数  $w_c$  に対する減衰量  $d B_c^{(cur)}[t]$  を調べる。

#### 【0202】 step 43

遷移域の指定減衰量との比較を行う (F310)。遷移域の周波数  $w_c$  に対する減衰量  $d B_c$  と比較して、下記式 (42) または式 (43) を満足している場合には、step 45 (F105) の処理に移行し、満足していない場合には step 44 (F311) の処理に移行する。

【0203】

【数42】

(42)

【数43】

(43)

3つのケースが考えられる。すなわち、周波数  $w_p^{(pre)}[0]$ 、 $w_p^{(cur)}[0]$  に対して、図25 (A)、(B)、(C) に示すケースが考えられる。図25 (A) に示すケースは、両方とも指定した減衰量  $d B_c$  を満足しているケースである。この場合、大きい周波数  $w_p^{(cur)}[0]$  を解として step 45 の処理に進む。図25 (B) に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しないケースである。この場合、現在のタップ数では、指定した減衰量を実現することができないので、その旨を表示して終了する。図25 (C) に示すケース

は、片方のみが指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式(44)のようにしてstep 41の処理に移行する。なお、今回の初期周波数の与え方では、 $w_p^{(cur)}[0]$  が満足し、 $w_p^{(pre)}[0]$  が満

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[1] &= \omega_p^{(pre)}[0] \\ \omega_p^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[0] + \omega_p^{(pre)}[0]) \\ dB_c^{(pre)}[1] &= dB_c^{(pre)}[0]\end{aligned}\quad (44)$$

【0209】二回目以降:二回目以降の場合には、図26に示す2つのケースが考えられる。二回目以降における新しい周波数 $w_p^{(cur)}[t+1]$ の決め方において、 $w_p^{(pre)}[t+1]$ には必ず指定減衰量 $dB_c$ を満足する周波数を保存する。周波数 $w_p^{(pre)}[t]$ 、 $w_p^{(cur)}[t]$ に対して図26(A)、(B)に示すケースが考えられる。図26(A)に示すケースは、片方のみ

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(pre)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] + \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(pre)}[t]\end{aligned}\quad (45)$$

【0211】図26(B)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しているケース。この場合は、下記式(46)の処理を行い次のstep 41の処理に移行

$$\begin{aligned}\omega_p^{(pre)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] \\ \omega_p^{(cur)}[t+1] &= \omega_p^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]) \\ dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(cur)}[t]\end{aligned}\quad (46)$$

#### 【0213】step 45

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める(F105)。すなわち、最終的に得られた振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める。

【0214】図27は、「最小の阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムをベースにした「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図27(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図27(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、図27(C)は利得3付近を拡大した図、および図27(D)は利得0付近を拡大した図である。

・ バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq \omega \leq \omega_p$	3	1
阻止域	$\omega_s \leq \omega \leq \pi$	0	1

足しないケースは存在しない。

【0208】

【数44】

が指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式(45)の処理を行い次のstep 41の処理に移行する。なお、常に $w_p^{(pre)}[t]$ は指定した減衰量を満足した周波数があるので、 $w_p^{(pre)}[t]$ が満足しないケースは存在しない。

【0210】

【数45】

する。

【0212】

【数46】

【0215】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0216】基本アルゴリズム:阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始点周波数を求めるレムズ交換アルゴリズムである。

- ・  $(0.4\pi, 12\text{dB})$  を通過
- ・ 24タップ
- ・ 偶対称
- ・ 阻止域の減衰量は $-40\text{dB}$ 以下

求めたい変数:通過域の終点周波数 $\omega_p$ と阻止域の始点周波数 $\omega_s$ である。

【0217】

【表9】

【0218】

【表10】

・ 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

【0219】なお、図27において、実線は阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、黒丸は指定した周波数点（遷移域の周波数点と任意の周波数点）を示している。

【0220】図27（A）から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。図27（B）から遷移域に指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図27（C）、（D）から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0221】すなわち、図27からわかるように、「最小の阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムをベースにした「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0222】次に、阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムをベースにしたアルゴリズムについて、図22、図28～図32に関連付けて説明する。この場合のフローチャートは、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムにおいて参照した図22と等価なものとなる。

【0223】本アルゴリズムでは、「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムを利用する。具体的なアルゴリズムの方針は、図28に示すように、上記アルゴリズムを内側のループとして $w_p$ を求め、さらに外側に $w_s$ を求めるためのループをかぶせてバンドのパラメータを決定する。すなわち、外側のループで阻止域の始点周波数 $w_s$ を固定し、内側のループで阻止域の指定減衰量 $dB_s$ を満足する通過域の終点周波数 $w_p$ を求める。求められた振幅特性が指定した遷移域の点（ $w_c$ ,  $dB_c$ ）を通過してないときは、「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を探索したときと同様に $w_s$ を二分法を用いて探索する。具体的に以下にアルゴリズムを示すが、内側のループである「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周

$$\omega_s^{(cur)}[0] = \text{阻止域の終点周波数の近傍} \quad (47)$$

【0228】もう一方の $w_s^{(pre)}[0]$ は下記のように値として「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を探索するアルゴリズム

$$\omega_p^{(pre)}[0] = \text{通過域の始点周波数の近傍} \quad (48)$$

波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムは同じなので説明は省略する。

【0224】また、図22および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102、F103、F104、F105、の内容は、第1のアプローチの場合と同様に、図6に関連付けて説明した任意の週は数点を通過するレムズ交換アルゴリズムと同じである。また、処理F206、F207、F208の内容は第2のアプローチの場合と同様に、図9に関連付けて説明した処理、すなわち「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」のアルゴリズムと同様である。したがって、ここでの処理については、図6および図9と同じ符号を用いている。

【0225】step50

図22に示すように、まず、初期設定を行う（F301）。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点を入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、二分法の初期周波数の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・ タップ数、
- ・ 直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・ バンドの数は2個、
- ・ 通過域の始点周波数 $w = 0$ 、
- ・ 通過域の利得、
- ・ 阻止域の終点周波数 $w = \pi$ 、
- ・ 阻止域の利得、
- ・ 通過域と阻止域に対する重みづけ、
- ・ 通過させたい点の周波数と振幅値、
- ・ 阻止域の減衰量 $dB_s$ （すなわち、阻止域のリップルの大きさ $\delta_2$ を指す）、
- ・ 遷移域の周波数 $w_c$ とその減衰量 $dB_c$ 、
- ・ 近似帯域で極値となる周波数 $w^{(0)} = w_k^{(0)}$ （ $k = 0, \dots, R$ ）

ただし、右肩文字(i)は繰り返しの回数を表している。

【0226】また、図29は、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分法の初期周波数を示す図である。図29に示すように、本例では、二分法の初期周波数として下記のような値を与えている。

【0227】

【数47】

で求めた $w_s$ を $w_s^{(pre)}[0]$ としている。

【0229】

【数48】



【0230】なお、本来ならば、下記式(57)として探索すべきであるが、これでは阻止域を減衰量を満足するような $w_p$ が見当たらない。そこで、 $w_p$ の最小の値は0.01程度であることから、このときの阻止域の減

$$\omega_s^{(pre)}[0] = \omega_c \text{の近傍}$$

【0232】 $w_s$ の後ろにある[t]の部分はサイクル数を表すものとする。ここでは、周波数 $w_s^{(pre)}[0]$ に対しては、任意の周波数点を通してレムズ交換アルゴリズムを実行して阻止域における指定した減衰量 $dBs$ を満足する最大の通過域の終点周波数 $w_p^{(pre)}[0]$ が求められ、そのときの $w_c$ における利得 $dB_c^{(pre)}[0]$ が得られているとして以下のステップについて説明する。

#### 【0233】step 51

「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムを実行する(F102, F103, F104, F206, F207, F208)。具体的には、処理F102では、 $w_s^{(cur)}[t]$ のときの極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する。次いで、処理F103において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理F104において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。次に、処理F206において、阻止域における最小の減衰量(最大の重みつき近似誤差)を求める。次に、処理F207において、阻止

$$|dB_c^{(cur)}[t] - dB_c| < \varepsilon_1$$

【0237】

$$|\omega_p^{(cur)}[t] - \omega_p^{(pre)}[t]| < \varepsilon_2$$

【0238】ただし、 $\varepsilon_1$ と $\varepsilon_2$ は非常に小さい値をしている。

#### 【0239】step 54

遷移域の周波数 $w_c$ に対する減衰量 $dB_c$ との比較において、上記式(50)または式(51)を満足していない場合には、バンドの設定を変更する(F311)。具体的には、新しい阻止域の始点周波数 $w_s^{(cur)}[t+1]$ を設定する。その設定法として一回目のループの場合と二回目以降のループの場合に分けて説明する。

【0240】一回目:一回目の場合には、図30に示す3つのケースが考えられる。すなわち、周波数 $w_s^{(pre)}[0]$ 、 $w_s^{(cur)}[0]$ に対して、図30(A)、(B)、(C)に示すケースが考えられる。図30(A)に示すケースは、両方とも指定した減衰量 $dB_c$

衰量を満足する阻止域の始点周波数 $w_s$ を初期周波数としている。

【0231】

【数49】

(49)

域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数 $w_p$ を持つフィルタを求めるアルゴリズムの終了条件を得る。また、処理F208において、新しい阻止域の始点周波数 $w_p^{(cur)}$ の設定を行う。

#### 【0234】step 52

次に、遷移域に指定した周波数の減衰量を調べる(F309)。処理F102において、「阻止域の減衰量を満足する最も大きい阻止域の終点周波数」を求めるアルゴリズムで最終的に求めたラグランジュ補間多項式を用いて、遷移域に指定した周波数 $w_c$ に対する減衰量 $dB_c^{(cur)}$ を調べる。

#### 【0235】step 53

指定した遷移域の減衰量との比較を行う(F310)。指定した遷移域の周波数 $w_c$ に対する減衰量 $dB_c$ と比較して、下記式(50)または式(51)を満足している場合には、step 55(F105)の処理に移行し、満足していない場合にはstep 54(F311)の処理に移行する。

【0236】

【数50】

(50)

【数51】

(51)

を満足しているケースである。この場合、大きい周波数 $w_s^{(cur)}[0]$ を解としてstep 55の処理に進む。図30(B)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しないケースである。この場合、現在のタップ数では、指定した減衰量を実現することができないので、その旨を表示して終了する。図30(C)に示すケースは、片方のみが指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式(52)のようにしてstep 51の処理に移行する。なお、今回の初期周波数の与え方では、 $w_s^{(cur)}[0]$ が満足し、 $w_s^{(pre)}[0]$ が満足しないケースは存在しない。

【0241】

【数52】

$$\begin{aligned}
 \omega_s^{(pre)}[1] &= \omega_s^{(pre)}[0] \\
 \omega_s^{(cur)}[1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[0] + \omega_s^{(pre)}[0]) \\
 dB_c^{(pre)}[1] &= dB_c^{(pre)}[0]
 \end{aligned}
 \tag{52}$$

【0242】二回目以降:二回目以降の場合には、図31に示す2つのケースが考えられる。二回目以降における新しい周波数 $w_s^{(cur)}[t+1]$ の決め方において、 $w_s^{(pre)}[t+1]$ には必ず指定減衰量 $dB_c$ を満足する周波数を保存する。周波数 $w_s^{(pre)}[t]$ 、 $w_s^{(cur)}[t]$ に対して図31(A)、(B)に示すケースが考えられる。図31(A)に示すケースは、片方のみ

$$\begin{aligned}
 \omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(pre)}[t] \\
 \omega_s^{(cur)}[t+1] &= 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] + \omega_s^{(pre)}[t]) \\
 dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(pre)}[t]
 \end{aligned}
 \tag{53}$$

【0244】図31(B)に示すケースは、両方とも指定した減衰量を満足しているケース。この場合は、下記式(54)のようにして次のstep51の処理に移行

$$\begin{aligned}
 \omega_s^{(pre)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] \\
 \omega_s^{(cur)}[t+1] &= \omega_s^{(cur)}[t] + 0.5 \times (\omega_s^{(cur)}[t] - \omega_s^{(pre)}[t]) \\
 dB_c^{(pre)}[t+1] &= dB_c^{(cur)}[t]
 \end{aligned}
 \tag{54}$$

#### 【0246】step55

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める(F105)。すなわち、最終的に得られた振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める。

【0247】図32は、「最大の通過域の終点周波数をフィルタ」を求めるアルゴリズムをベースにした「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図32(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図32(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、

図32(C)は利得3付近を拡大した図、および図32(D)は利得0付近を拡大した図である。

・ バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$w_s \leq w \leq \pi$	0	1

#### 【0251】

##### 【表12】

・ 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

が指定した減衰量を満足するケースである。この場合は、下記式(53)のようにして次のstep51の処理に移行する。なお、常に $w_s^{(pre)}[t]$ は指定した減衰量を満足した周波数になるので、 $w_s^{(pre)}[t]$ が満足しないケースは存在しない。

#### 【0243】

##### 【数53】

する。

#### 【0245】

##### 【数54】

【0248】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0249】基本アルゴリズム:阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始点周波数を求める任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムである。

- ・  $(0.4\pi, 12\text{dB})$  を通過
- ・ 24タップ
- ・ 偶対称
- ・ 阻止域の減衰量は $-40\text{dB}$ 以下

求めたい変数:通過域の終点周波数 $w_p$ と阻止域の始点周波数 $w_s$ である。

#### 【0250】

##### 【表11】

【0252】なお、図32において、実線は阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、黒丸は指定した周波数点(遷移域の周波数点と任意の周波数点)を示している。

【0253】図32(A)から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。図32(B)から遷

移域に指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図32(C), (D) から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0254】すなわち、図32からわかるように、「最大の通過域の終点周波数をフィルタ」を求めるアルゴリズムをベースにした「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0255】次に、バンドを変更可能なレムズ交換アルゴリズムに対して、阻止域の減衰量を満足する最小タップ数のフィルタ設計のアルゴリズムについて説明する。ここでは、前記「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムと、前記「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」を求めるアルゴリズムに対して、指定した阻止域の減衰量を実現する最小タップ数のフィルタを求めるアルゴリズムについて説明する。

【0256】図33は、阻止域の減衰量を実現する最小タップ数のフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【0257】このアルゴリズムで自由になるパラメータ、目的、そしてアルゴリズムの原理を列挙すると次のようになる。

\*自由パラメータ:

- ・タップ数
- ・2種類のアプローチが存在する。

第1に、通過域の終点周波数 $w_p$ を可変とし、阻止域の始点周波数 $w_s$ を固定する。第2に、通過域の終点周波数 $w_p$ を固定し、阻止域の始点周波数 $w_s$ を可変とする。

\*目的: バンドの変数のうち一つが可変であるアルゴリズムに対して、指定された阻止域の減衰量 $dB_s$ を満足する最小タップ数のフィルタを得る。

\*原理: 1回目のループで「解なし」となるとき、タップ数が足りず指定した減衰量を実現できないので、1タップ数を増やし再度ためてみる。

【0258】また、図33および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102, F103, F104, F105、の内容は、第1のアプローチの場合と同様に、図6に関連付けて説明した任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムと同じである。また、処理F201, F206, F207, F208の内容は第2のアプローチの場合と同様に、図9に関連付けて説明した処理、すなわち「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」のアルゴリズム、および「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」のアルゴリズムと同様である。したがって、ここでの処理については、図6お

よび図9と同じ符号を用いている。

#### 【0259】step60

図33に示すように、まず、初期設定を行う(F201)。この初期設定では、直線位相FIRフィルタの設定、バンドの設定、通過させたい任意の周波数点を入力、初期極値点の設定、阻止域の減衰量の指定、二分割法の初期周波数の設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・タップ数、
- ・直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・バンドの数は2個、
- ・通過域の始点周波数 $w=0$ 、
- ・通過域の利得、
- ・阻止域の終点周波数 $w=\pi$ 、
- ・阻止域の利得、
- ・通過域と阻止域に対する重みづけ、
- ・通過させたい点の周波数と振幅値、
- ・阻止域の減衰量 $dB_s$ (すなわち、阻止域のリップルの大きさ $\delta_2$ を指す)、
- ・近似帯域で極値となる周波数 $w(0) = w_k(0)$  ( $k=0, \dots, R$ ) ただし、右肩文字(i)は繰り返しの回数を表している。

・二分割法の初期周波数の入力

#### 【0260】step61

任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行する(F102, F103, F104)。具体的には、処理F102では、極値点と通過させたい周波数点から振幅特性を補間する補間多項式を生成する。次いで、処理F103において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理F104において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。

#### 【0261】step62

次に、阻止域における最小の減衰量(最大の重みつき近似誤差)を求める(F206)。

#### 【0262】step63

指定した阻止域の減衰量を満足する周波数の探索アルゴリズムの終了条件が成り立つかを判別する(F207)。終了条件が成り立つ場合にはstep67(F105)の処理に移行し、成り立たないときはstep64(F208)の処理に移行する。

#### 【0263】step64

指定した阻止域の減衰量を満足する周波数の探索アルゴリズムの終了条件が成り立たない場合に、バンドの設定を変更する(F208)。

#### 【0264】step65

指定した阻止域の減衰量との比較を行う(F414)。処理F208のバンドの設定変更において、1回目のループで「解なし」となる場合はstep66(F414)の処理に移行し、それ以外の場合は、step61

の処理に戻る。

【0265】step66

1タップ増やす(F415)。現在のタップ数を1タップ増やし、step60(F201)の初期設定処理に移行する。

【0266】step67

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める(F105)。

【0267】図34は、「阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図34(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図34(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、図34(C)は利得3付近を拡大した図、および図

・バンド:

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq 0.3\pi$	3	1
阻止域	$w_0 \leq w \leq \pi$	0	1

【0271】

【表14】

・指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

【0272】なお、図34中において、実線は阻止域の減衰量が-60dB以下になる最小のタップ数(17タップ)の低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、点線はあらかじめ与えたバンドの区切りを示し、黒丸は指定した周波数点を示している。

【0273】図34(A)から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図34(C)、(D)から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0274】すなわち、図34からわかるように、「阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0275】また、図35は、「指定した阻止域の減衰

・バンド:

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$0.5\pi \leq w \leq \pi$	0	1

【0279】

【表16】

34(D)は利得0付近を拡大した図である。

【0268】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0269】基本アルゴリズム:阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始点周波数を持つフィルタを求める任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムである。

・偶対称

・阻止域の減衰量は-60dB以下

求めたい変数:

・タップ数N

・阻止域の始点周波数 $w_s$

【0270】

【表13】

量を実現する最小のタップ数」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答を示す図である。図35(A)はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図35(B)はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、図35(C)は利得3付近を拡大した図、および図35(D)は利得0付近を拡大した図である。

【0276】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

【0277】基本アルゴリズム:阻止域の減衰量を満足する最大の通過域の終点周波数を持つフィルタを求める任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムである。

・偶対称

・阻止域の減衰量は-60dB以下

求めたい変数:

・タップ数N

・阻止域の始点周波数 $w_s$

【0278】

【表15】

・指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

【0280】なお、図35中において、実線は阻止域の減衰量が $-60\text{ dB}$ 以下になる最小のタップ数（17タップ）の低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、点線はあらかじめ与えたバンドの区切りを示し、黒丸は指定した周波数点を示している。

【0281】図35（A）から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。また、図35（C）、（D）から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0282】すなわち、図35からわかるように、「指定した阻止域の減衰量を実現する最小のタップ数」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0283】次に、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する最小タップ数のフィルタを求めるアルゴリズムについて説明する。ここでは、前記「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタ」を求めるアルゴリズムに対して、阻止域の減衰量を満足し、かつ、遷移域の周波数点を通過する最小タップ数のフィルタを求めるアルゴリズムについて説明する。

【0284】図36は、阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する最小タップ数のフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【0285】このアルゴリズムで自由になるパラメータ、目的、そしてアルゴリズムの原理を列挙すると次のようになる。

\*自由パラメータ：

- ・タップ数
- ・通過域の終点周波数 $w_p$
- ・阻止域の始点周波数 $w_s$

\*目的：指定された阻止域の減衰量 $d_Bs$ を満足し、かつ、遷移域の周波数 $w_c$ で減衰量 $d_Bc$ を通過する最小タップ数のフィルタを得る。すなわち、遷移域の特定周波数 $w_c$ で減衰量 $d_Bc$ となるような最も大きい通過域の終点周波数 $w_p$ と最も小さい阻止域の始点周波数 $w_s$ を決め、最小のタップ数となるフィルタを得る。

\*原理：1回目のループで「解なし」となるとき、タップ数が足りず指定した減衰量を実現できないので、1タップ数を増やし再度ためしてみる。また、遷移域の周波数点を実現できない場合においても1タップ数を増やし再度ためしてみる。

【0286】また、図36および以下に説明するアルゴリズムの各ステップ処理F102、F103、F104、F105、の内容は、第1のアプローチの場合と同様に、図6に関連付けて説明した任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムと同じである。また、処理F206、F207、F208の内容は第2のアプローチの場合と同様に、図9に関連付けて説明した処理、すなわち「阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタ」のアルゴリズム、または

「阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタ」のアルゴリズムと同様である。さらに、処理F301、F309、F310、F311の内容は、図22に関連付けて説明した処理、すなわち、

「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の特定周波数での指定減衰量を通過するフィルタを求めるアルゴリズム」と同様である。したがって、ここでの処理については、図6、図9、および図22と同じ符号を用いている。

#### 【0287】step70

図36に示すように、まず、初期設定を行う（F301）。具体的には、阻止域の減衰量を満足し、かつ、遷移域に指定した減衰量を通過するフィルタを求めるアルゴリズムの初期設定を行う。具体的に設定する項目は以下の通りである。

- ・タップ数、
- ・直線位相FIRフィルタは、偶対称あるいは奇対称、
- ・バンドの数は2個、
- ・通過域の始点周波数 $w=0$ 、
- ・通過域の利得、
- ・阻止域の終点周波数 $w=\pi$ 、
- ・阻止域の利得、
- ・通過域と阻止域に対する重みづけ、
- ・通過させたい点の周波数と振幅値、
- ・阻止域の減衰量 $d_Bs$ （すなわち、阻止域のリップルの大きさ $\delta_2$ を指す）、
- ・遷移域の周波数 $w_c$ とその減衰量 $d_Bc$ 、
- ・近似帯域で極値となる周波数 $w^{(0)} = w_k^{(0)}$  ( $k=0, \dots, R$ )

ただし、右肩文字(i)は繰り返しの回数を表している。

- ・二分割法の初期周波数の入力

#### 【0288】step71

任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムを実行する（F102、F103、F104）。具体的には、処理F102では、極値点から振幅特性を補間する補間多項式を生成を生成する。次いで、処理F103において、補間多項式から求められた振幅特性から新しい極値点を決定する。そして、処理F104において、レムズ交換アルゴリズムの繰り返し判断を行う。

#### 【0289】step72

次に、阻止域における最小の減衰量（最大の重みつき近似誤差）を求める（F206）。

#### 【0290】step73

指定した阻止域の減衰量を満足する周波数の探索アルゴリズムの終了条件が成り立つか否かを判別する（F207）。終了条件が成り立つ場合にはstep77（F309）の処理に移行し、成り立たないときはstep74（F208）の処理に移行する。

#### 【0291】step74

指定した阻止域の減衰量を満足する周波数の探索アルゴリズムの終了条件が成り立たない場合に、バンドの設定

を変更する (F208)。

【0292】 step75

指定した阻止域の減衰量との比較を行う (F414)。  
処理F208のバンドの設定変更において、1回目のループで「解なし」となる場合はstep76 (F415) の処理に移行し、それ以外の場合は、step71の処理に戻る。

【0293】 step76

1タップ増やす (F415)。現在のタップ数を1タップ増やし、step70 (F301) の初期設定処理に移行する。

【0294】 step77

指定した阻止域の減衰量を満足する周波数の探索アルゴリズムの終了条件が成り立つ場合に、遷移域に指定した周波数の減衰量を調べる (F309)。

【0295】 step78

指定した阻止域の減衰量との比較を行う (F310)。  
終了条件が成り立つ場合にはstep82 (F105) の処理に移行し、成り立たないときはstep79 (F311) の処理に移行する。

【0296】 step79

終了条件が成り立たない場合に、バンドの設定を変更する (F311)。

【0297】 step80

指定した阻止域の減衰量との比較を行う (F416)。  
処理F311のバンドの設定変更において、1回目のループで「解なし」となる場合はstep81 (F417) の処理に移行し、それ以外の場合は、step71の処理に戻る。

【0298】 step81

・ バンド

バンド	周波数範囲	利得	重み
通過域	$0 \leq w \leq w_p$	3	1
阻止域	$w_s \leq w \leq \pi$	0	1

【0303】

【表18】

・ 指定周波数点

周波数	利得
$w = 0$	3
$w = 2\pi/3$	0

【0304】なお、図37中において、実線は阻止域の減衰量が-60dB以下になる遷移域の周波数0.4 $\pi$ で減衰量-12dB以下となる最小のタップ数(17タップ)の低域通過フィルタの周波数応答を示している。また、点線はあらかじめ与えたバンドの区切りを示し、黒丸は指定した周波数点を示している。

【0305】図37 (A) から指定した阻止域の減衰量を実現していることが確認できる。図37 (B) から遷

移域に指定した周波数点を通過していることが確認できる。また、図35 (C), (D) から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0299】 step83

近似された振幅特性から直線位相FIRフィルタの係数を求める (F105)。

【0300】図37は、「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する最小のタップ数のフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタの周波数応答特性を示す図である。図37 (A) はデシベルで表示した周波数応答を示す図、図37 (B) はそのままの値で表示した周波数応答を示す図、図37 (C) は利得3付近を拡大した図、および図37 (D) は利得0付近を拡大した図である。

【0301】この場合の基本アルゴリズム、求めたい変数、指定周波数点は以下の通りである。

基本アルゴリズム:阻止域の減衰量を満足する最大の通過域の終点周波数を求めるアルゴリズムをベースにした、遷移域の周波数点を通過するフィルタを得るレムズ交換アルゴリズムである。

・ (0.4 $\pi$ , 12dB) を通過

・ 偶対称

・ 阻止域の減衰量は-60dB以下

求めたい変数:

・ タップ数N

・ 通過域の終点周波数 $w_p$

・ 阻止域の始点周波数 $w_s$

【0302】

【表17】

移域に指定した周波数点を通過していることが確認できる。また、図35 (C), (D) から指定した周波数点を通過していることが確認できる。

【0306】すなわち、図37からわかるように、「阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する最小のタップ数のフィルタ」を求めるアルゴリズムにより得られた低域通過フィルタは、良好な周波数応答特性を有している。

【0307】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、任意の周波数点を通過する周波数応答を持つことが可能となる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】FIRフィルタのトランスバーサル型回路構成を示す図である。

【図2】従来方法における周波数応答と利得1付近の拡大図である。

【図3】FIRフィルタが直線位相を持つ4つの場合のインパルス応答を示す図である。

【図4】直線位相FIRフィルタの4つの場合に対する $Q(e^{j\omega})$ と $R$ を示す図である。

【図5】重みつきチェビシェフ近似の例を示す図である。

【図6】本発明の任意の周波数点を通過するレムズ交換アルゴリズムのフローチャートである。

【図7】重みつき近似誤差 $E(e^{j\omega})$ の新しい極値の決定法を説明するための図である。

【図8】本発明の任意の周波数点を指定したときの周波数応答とその拡大図を示す図である。

【図9】阻止域の減衰量を満足するフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【図10】阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムのパラメータを示す図である。

【図11】阻止域の減衰量を満足する最も大きい通過域の終点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分割法の初期周波数を示す図である。

【図12】一回目のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図13】二回目以降のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図14】阻止域の減衰量を満足する最大の通過域の終点周波数をもつフィルタの周波数応答を示す図である。

【図15】阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムのパラメータを示す図である。

【図16】阻止域の減衰量を満足する最も小さい阻止域の始点周波数を持つフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分割法の初期周波数を示す図である。

【図17】一回目のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図18】二回目以降のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図19】阻止域の減衰量を満足する最小の阻止域の始点周波数をもつフィルタの周波数応答を示す図である。

【図20】阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数のフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【図21】阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数のフィルタの周波数応答とその拡大図を示す図である。

【図22】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点

を通過するフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【図23】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズム(1)を示す図である。

【図24】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分割法の初期周波数を示す図である。

【図25】一回目のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図26】二回目以降のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図27】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタの周波数応答とその拡大図を示す図である。

【図28】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズム(2)を示す図である。

【図29】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタを求めるアルゴリズムにおける二分割法の初期周波数を示す図である。

【図30】一回目のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図31】二回目以降のループにおけるバンド設定の変更を示す図である。

【図32】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過するフィルタの周波数応答とその拡大図を示す図である。

【図33】阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数のフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【図34】阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数のフィルタの周波数応答とその拡大図を示す図である。

【図35】阻止域の減衰量を満足する最小のタップ数のフィルタの周波数応答とその拡大図を示す図である。

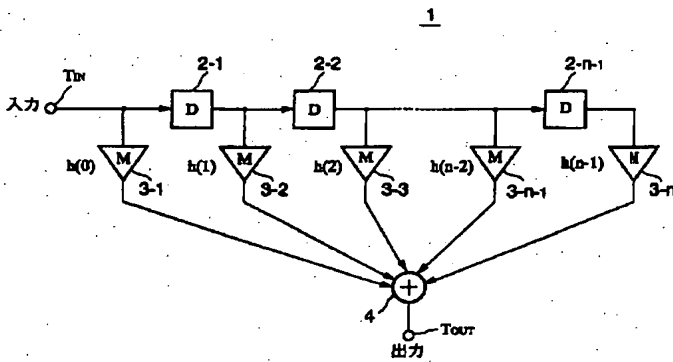
【図36】阻止域の減衰量を満足し、遷移域の周波数点を通過する最小のタップ数のフィルタを求めるアルゴリズムのフローチャートを示す図である。

【図37】阻止域の減衰量を満足し、かつ、遷移領域の周波数点を通過する最小タップ数のフィルタの周波数応答とその拡大図を示す図である。

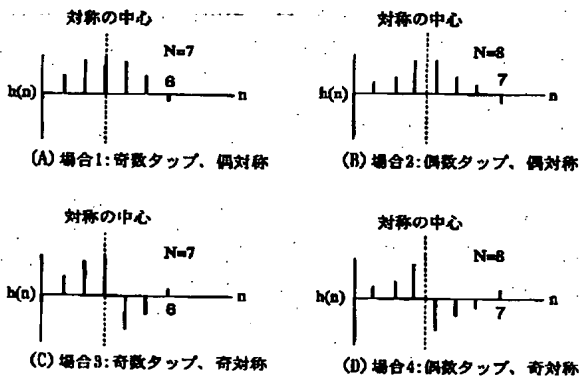
【符号の説明】

1…直線位相FIRフィルタ、2-1~2-n-1…遅延器、3-1~3-n…乗算器、4…加算器、 $h(0) \sim h(n-1)$ …フィルタ係数、 $T_{IN}$ …入力端子、 $T_{OUT}$ …出力端子。

【図1】



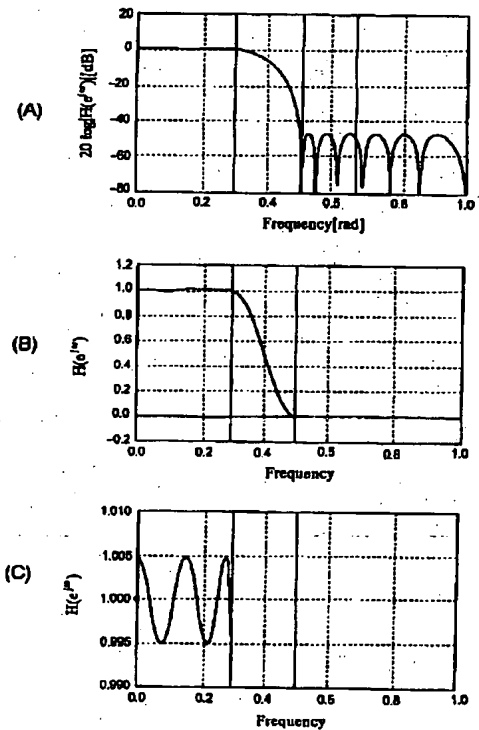
【図3】



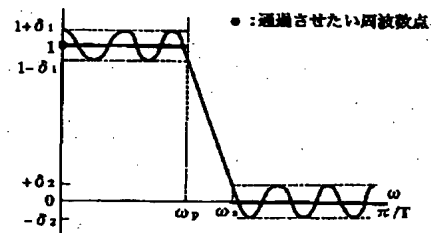
【図4】

場合	$Q(e^{j\omega})$	R
1	1	$(N-1)/2 + 1 - 2 \times N_p$
2	$\cos(\omega/2)$	$N/2 - 1 + 1 - 2 \times N_p$
3	$\sin(\omega)$	$(N-3)/2 + 1 - 2 \times N_p$
4	$\sin(\omega/2)$	$N/2 - 1 + 1 - 2 \times N_p$

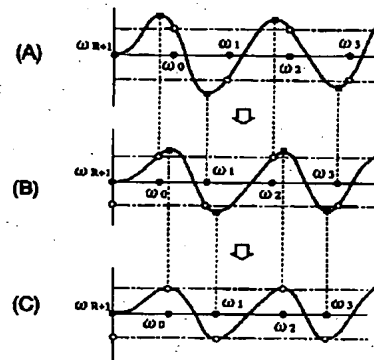
【図2】



【図5】

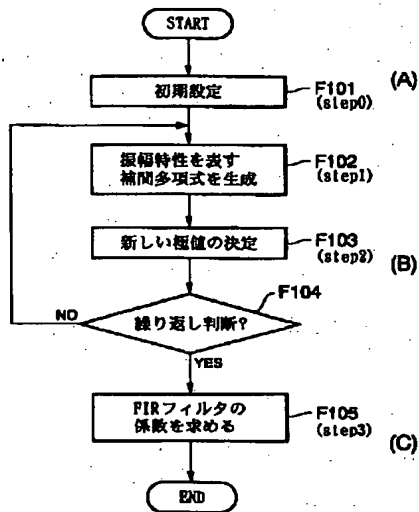


【図7】

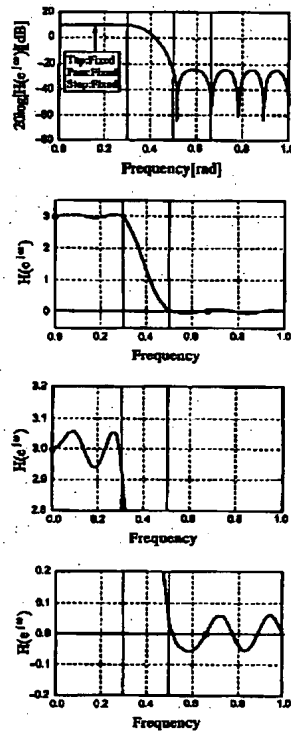




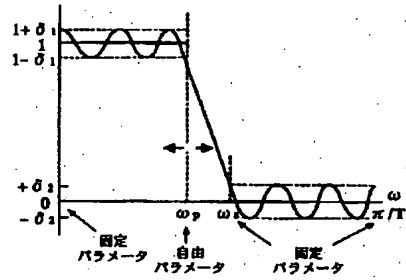
【図6】



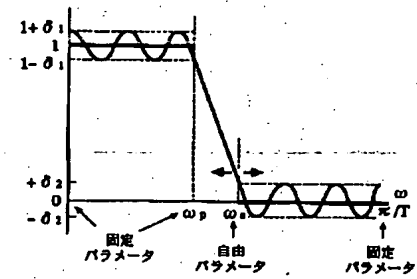
【図8】



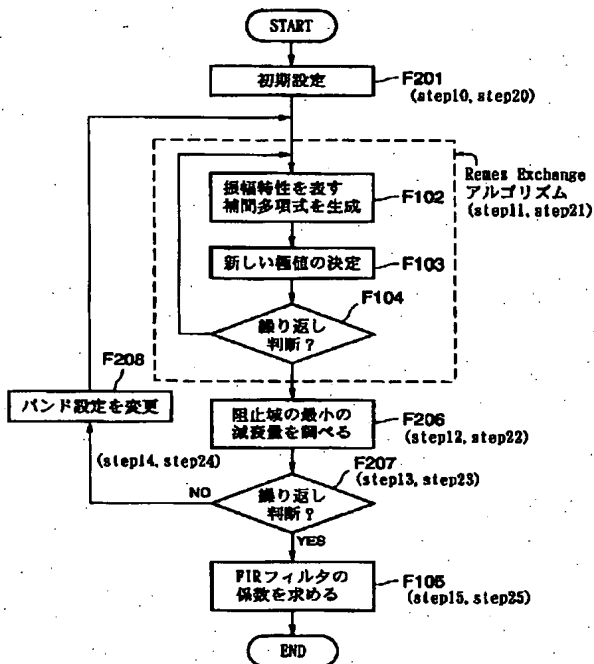
【図10】



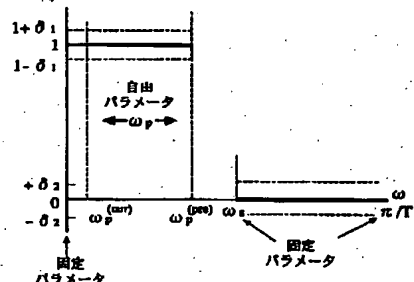
【図15】



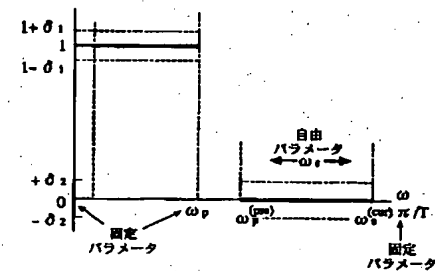
【図9】



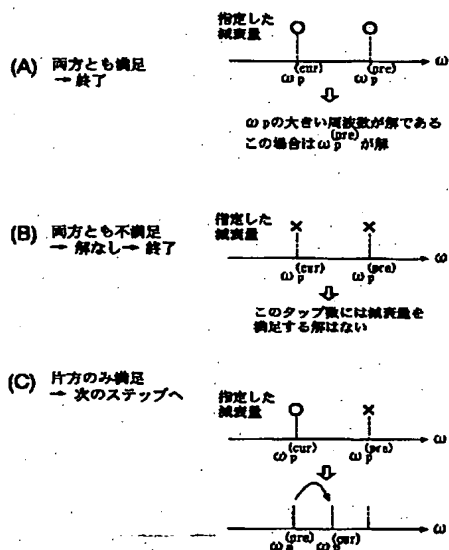
【図11】



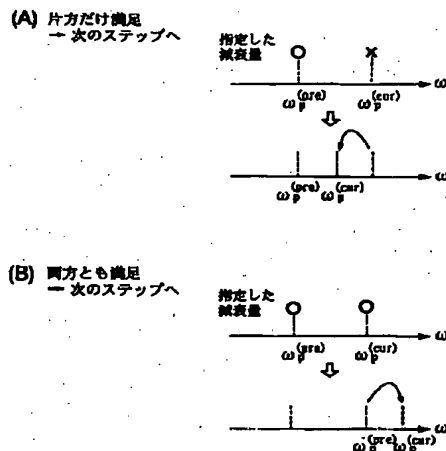
【図16】



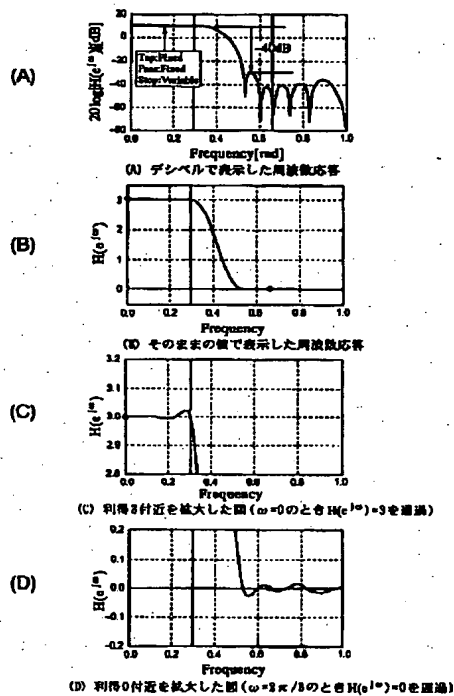
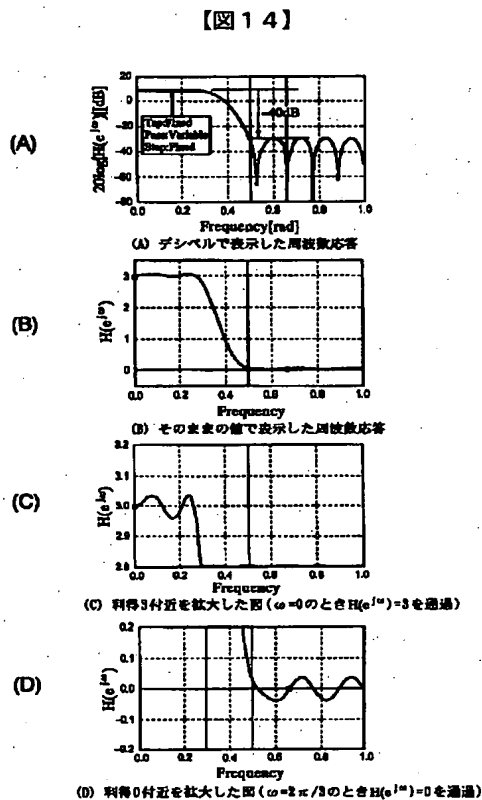
【図12】



【図13】

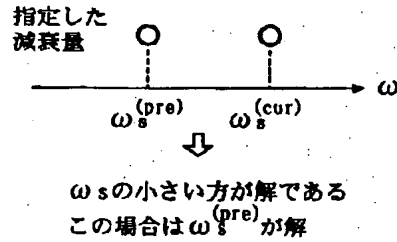


【図19】

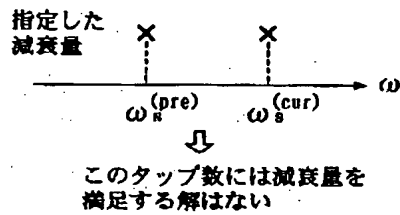


【図17】

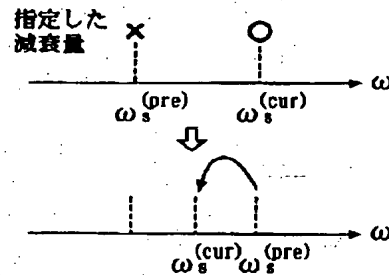
(A) 両方とも満足  
→ 終了



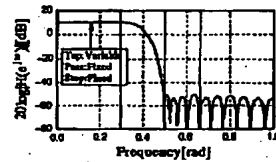
(B) 両方とも不満足  
→ 解なし → 終了



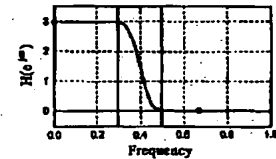
(C) 片方のみ満足  
→ 次のステップへ



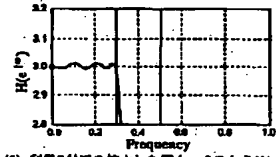
【図21】



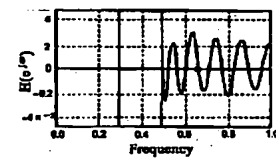
(A) デシベルで表示した周波数応答



(B) そのままの値で表示した周波数応答

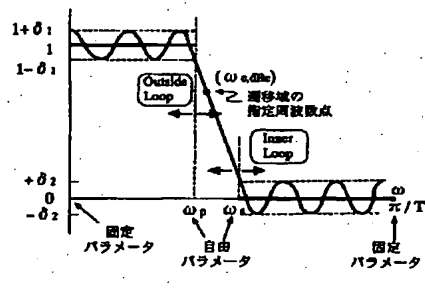


(C) 利得3付近を拡大した図 ( $\omega=0$ のとき $|H(e^j\omega)|=3$ を通過)

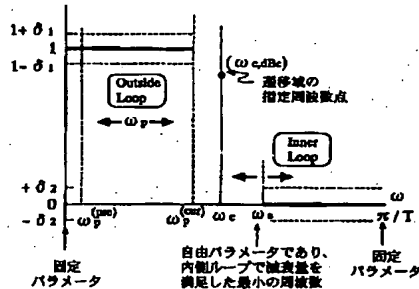


(D) 利得0付近を拡大した図 ( $\omega=\pi/3$ のとき $|H(e^j\omega)|=0$ を通過)

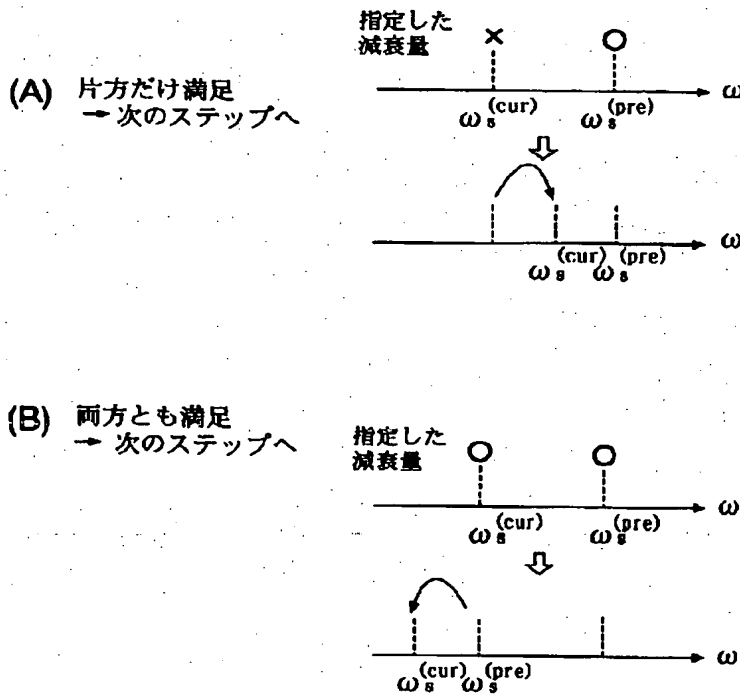
【図23】



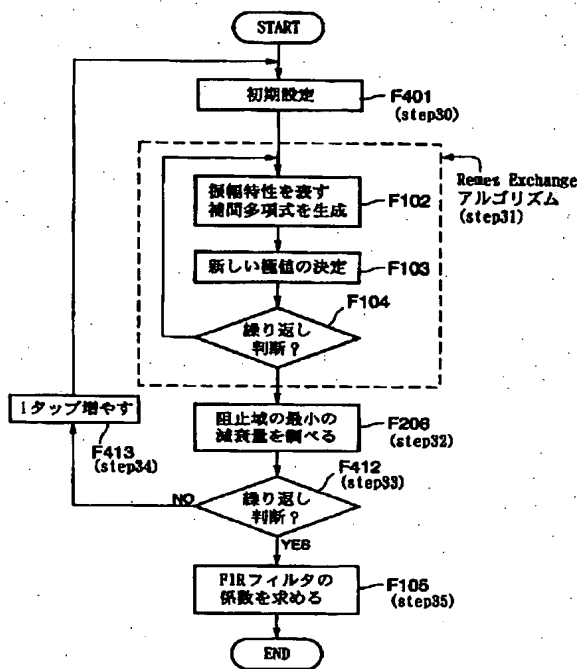
【図24】



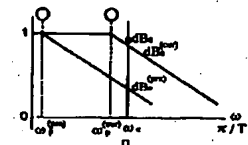
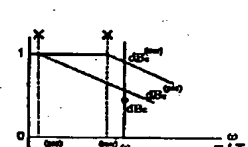
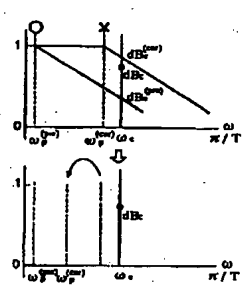
【図18】



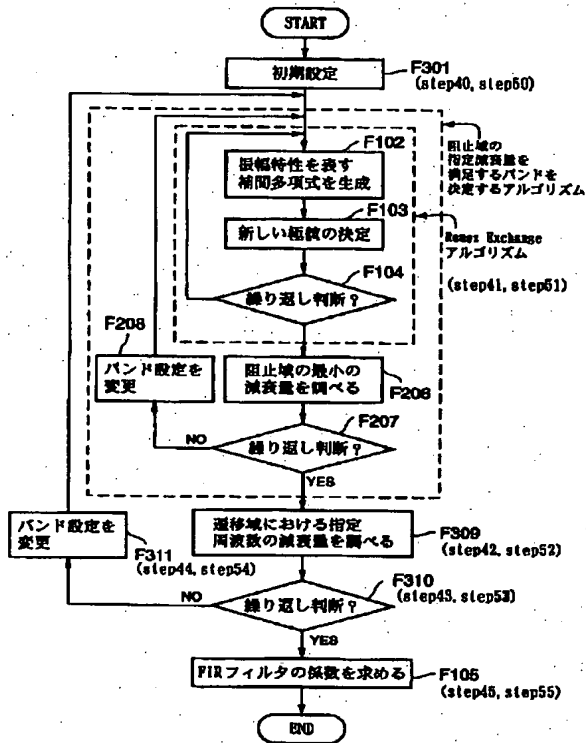
【図20】



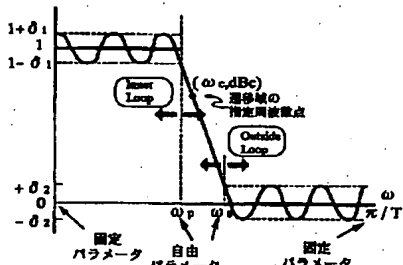
【図25】

(A) 両方とも満足  
→ 終了 $\omega_p$ の大きい周波数域が解である  
この場合は $\omega_p$ が解(B) 両方とも不満足  
→ 解なし → 終了このタップ数には周波数域の点(ω, dB)を  
通過する解はない(C) 片方のみ満足  
→ 次のステップへ

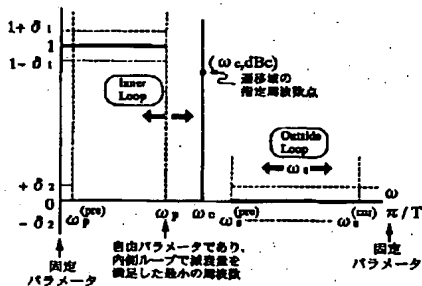
【図22】



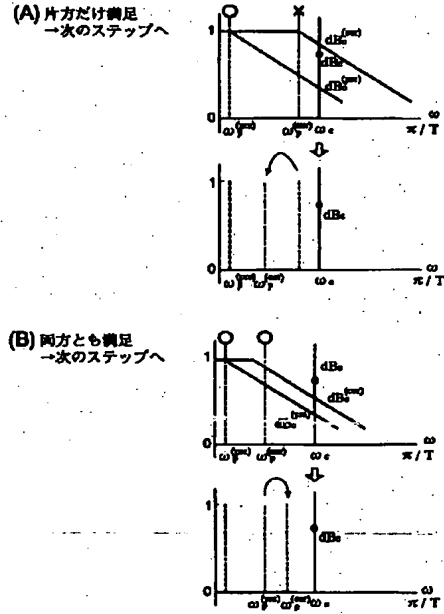
【図28】



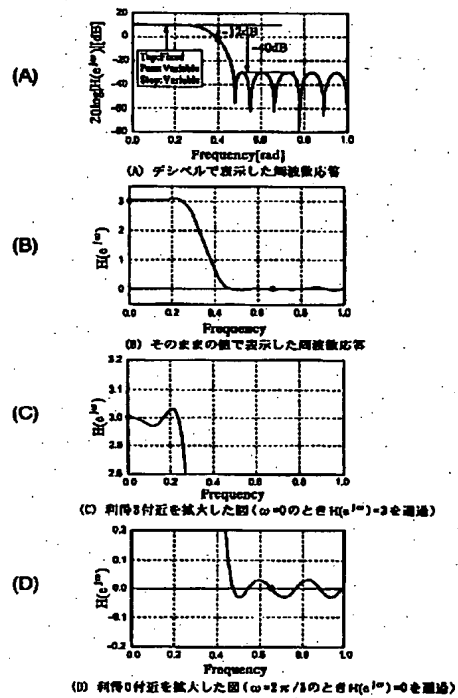
【図29】



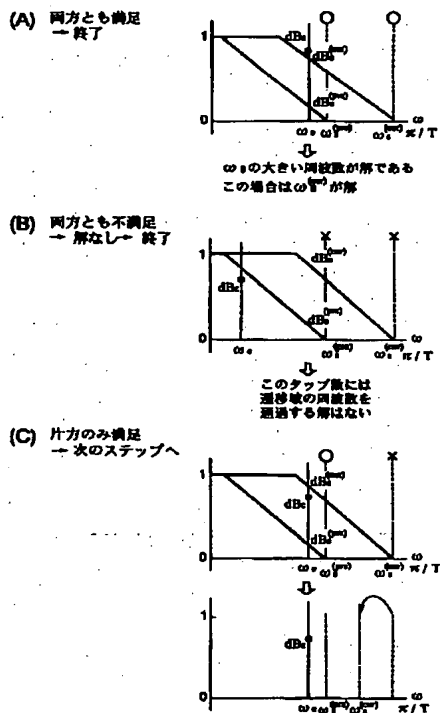
【図26】



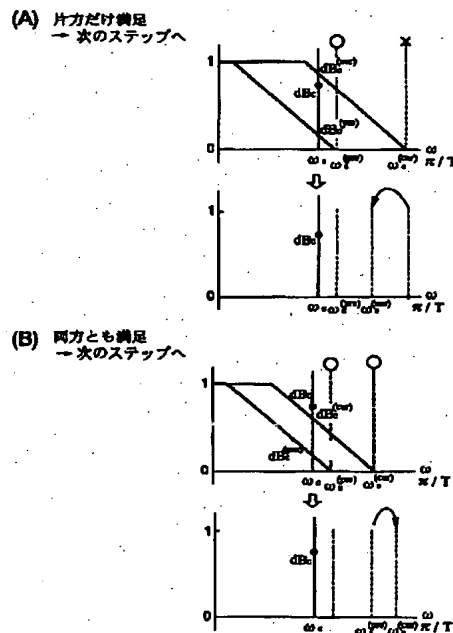
【図27】



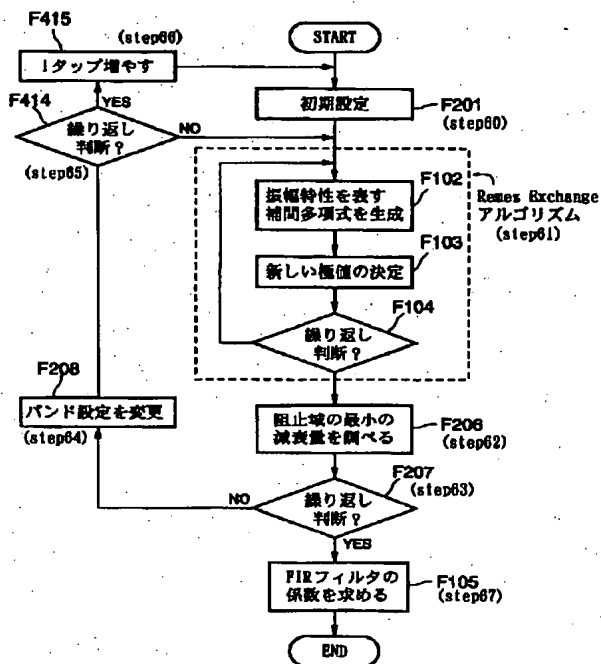
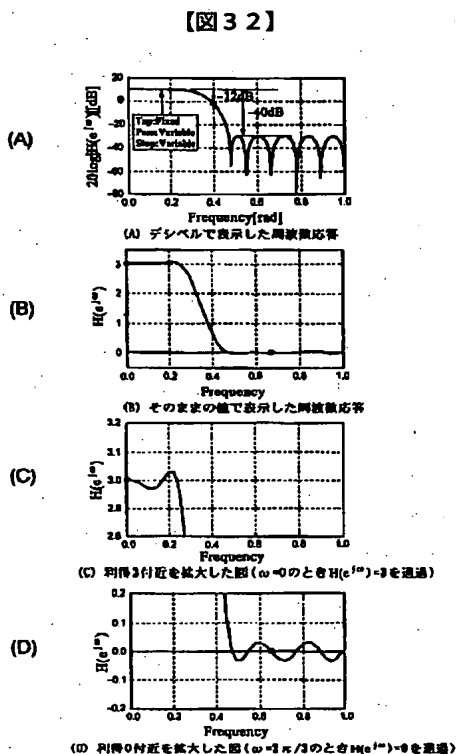
【図30】



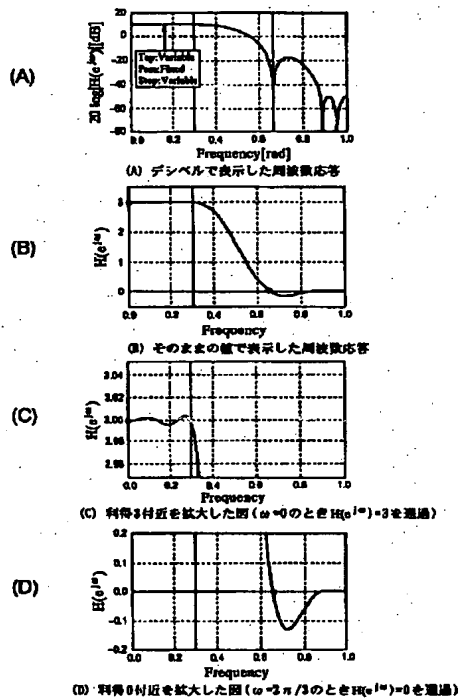
【図31】



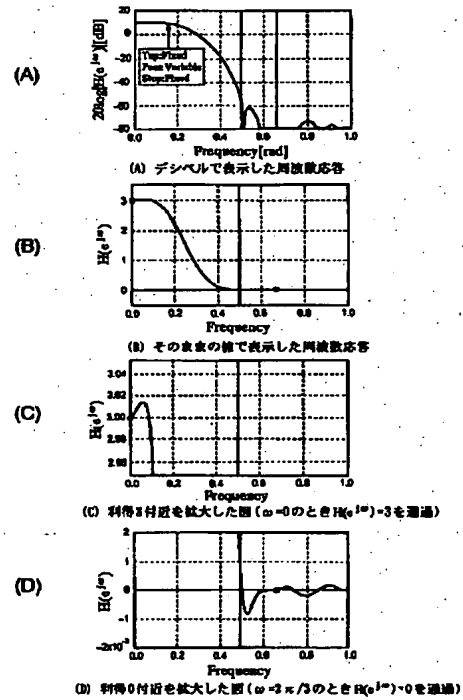
【図33】



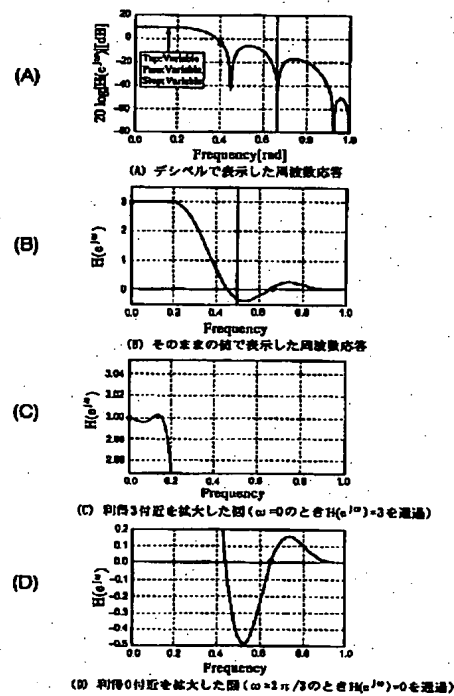
【図34】



【図35】



【図37】



【図36】

